



TUGAS AKHIR - 141584

**STUDI PENGARUH VARIASI AGREGAT LIMBAH
PLASTIK LDPE/ PET/ STYROFOAM TERHADAP
SIFAT FISIK DAN MEKANIS KOMPOSIT BERBASIS
SEMEN *PORTLAND* UNTUK APLIKASI
*BREAKWATER***

MUHAMMAD IRFAN BIBRA
0251144000014

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - 141584

**STUDI PENGARUH VARIASI AGREGAT LIMBAH
PLASTIK LDPE/ PET/ *STYROFOAM* TERHADAP
SIFAT FISIK DAN MEKANIS KOMPOSIT BERBASIS
SEMEN *PORTLAND* UNTUK APLIKASI
*BREAKWATER***

MUHAMMAD IRFAN BIBRA
02511440000014

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

STUDY OF VARIATIONS WASTE PLASTIC AGGREGATE LDPE/ PET/ STYROFOAM ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PORTLAND CEMENT BASED COMPOSITE FOR BREAKWATER APPLICATIONS

MUHAMMAD IRFAN BIBRA
02511440000014

Advisor
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

(This page left intentionally blank)

**STUDI PENGARUH VARIASI AGREGAT LIMBAH
PLASTIK LDPE/PET/STYROFOAM TERHADAP SIFAT
FISIK DAN MEKANIS SEMEN *PORTLAND* UNTUK
APLIKASI *BREAKWATER***

LEMBAR PENGESAHAN


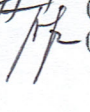
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada
Programa Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD IRFAN BIBRA
NRP. 02511440000014

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, Ph.D.  (Pembimbing I)
Mas Irfan P. Hidayat, ST, M.Sc, Ph.D.  (Pembimbing II)



**STUDI PENGARUH VARIASI AGREGAT LIMBAH
PLASTIK LDPE/PET/STYROFOAM TERHADAP SIFAT
FISIK DAN MEKANIK KOMPOSIT BERBASIS SEMEN
PORTLAND UNTUK APLIKASI BREAKWATER**

Nama Mahasiswa : Muhammad Irfan Bibra
NRP : 02511440000014
Jurusan : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Sigit Tri Wicaksono, S.Si.,M.Si.,Ph.D
Mas Irfan P. Hidayat ST., M.Sc.,Ph.D

Abstrak

Indonesia adalah negara kepulauan dengan kurang lebih 17.000 pulau dan 80.000 km garis pantai (daerah yang dikelilingi oleh pantai-pantai) dengan berbagai potensinya untuk dimanfaatkan dan dikembangkan. Namun, kondisi pantai-pantai di Indonesia cukup dinamis terhadap abrasi yang disebabkan oleh angin dan aktivitas gelombang laut. Dibutuhkan struktur pemecah dan penahan gelombang air laut yang biasa disebut *breakwater* untuk mereduksi gelombang air laut sehingga kegiatan disekitar pantai dapat dilakukan. Disisi lain sampah plastik sudah menjadi persoalan yang sangat serius terutama di Indonesia. Indonesia menjadi negara penyumbang sampah plastik terbanyak kedua setelah Tiongkok. LDPE dan PET adalah salah satu jenis plastik yang banyak digunakan oleh manusia sehingga menjadi salah satu penyumbang terbesar sampah plastik di dunia khususnya di Indonesia. Sehingga dibutuhkan rekayasa limbah plastik LDPE dan PET untuk mengurangi sampah limbah plastik. Oleh karena itu dalam penelitian ini, dilakukan penelitian penggunaan limbah plastik LDPE, PET, dan Styrofoam sebagai agregat untuk alternatif pembuatan struktur penahan dan pemecah gelombang sekaligus rekayasa limbah plastik. Tujuan penelitian adalah menganalisis pengaruh variasi agregat limbah plastik LDPE/PET/Styrofoam terhadap sifat fisik dan sifat mekanik komposit berbasis semen *Portland* untuk aplikasi *breakwater* dan menganalisis komposisi komposit optimal untuk aplikasi

breakwater. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan pelelehan limbah plastik LDPE, PET, dan Styrofoam lalu dipotong untuk mendapatkan ukuran yang kecil. Selanjutnya dilakukan pengadukan semen, pasir, dan agregat limbah plastik lalu dituang kedalam cetakan komposit. Kemudian dilakukan uji densitas, uji *water absorbability*, uji FTIR, uji SEM, uji *mass loss* dan uji kuat tekan. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan hasil berupa nilai densitas tertinggi sebesar 2.06 g/cm³ dengan persentase *water absorbability* terendah sebesar 6.02%. Nilai kuat tekan maksimal adalah 18.8 MPa dan persentase *mass loss* terendah adalah sebesar 0.03%.

Kata kunci : *Breakwater*, Komposit, LDPE, PET, Styrofoam.

**STUDY INFLUENCE OF VARIATIONS WASTE PLASTIC
AGGREGATE LDPE/ PET/ STYROFOAM ON PHYSICAL
AND MECHANICAL PROPERTIES OF PORTLAND
CEMENT BASED COMPOSITE FOR BREAKWATER
APPLICATIONS**

Name of Student	: Muhammad Irfan Bibra
NRP	: 02511440000014
Major	: Material Engineering
Advisor	: Sigit Tri Wicaksono, S.Si.,M.Sc.,Ph.D Mas Irfan P. Hidayat ST.,M.Sc.,Ph.D

Abstract

Indonesia is an archipelagic country with approximately 17,000 islands and 80,000 km of coastline (the area surrounded by beaches) with various potentials to be utilized and developed. However, coastal conditions in Indonesia are quite dynamic against abrasion caused by wind and sea wave activity. So, it needed a structure to break and withstand the sea wave, that called breakwater. Breakwater reduced the sea wave so activities in the coastal area can be done. On the other hand plastic waste has become a very serious problem, especially in Indonesia. Indonesia became the second largest contributor of plastic waste after China. LDPE and PET are one of the plastic that used by human, which caused LDPE and PET to contribute a lot to plastic waste in the world, especially in Indonesia. So that needed plastic waste engineering to reduce plastic waste of LDPE and PET. In this research, the study of the influence of aggregate of waste plastic of LDPE, PET, and Styrofoam as an alternative to the manufacture of retaining and breaking structures as well as engineering of plastic waste. The purpose of this research are to study the influence of plastic waste aggregate LDPE/PET/Styrofoam to physical and mechanical properties of Portland cement based composite. The composite making process is done by melting the waste of plastic LDPE, PET, and Styrofoam and then cut to get a small size. Further stirring of cement, sand, and aggregate of plastic waste is then poured into

the composite mold. Then do density test, water absorbability test, FTIR test, SEM test, weight loss test and compressive strength test. After testing done, the result are the the highest density value is 2.06 g/cm³ with the lowest water absorbability percentage is 6.02%. The highest compressive strength value is 18.8 MPa and the lowest mass loss percentage is 0.03%.

Keywords : Breakwater, Composite, LDPE, PET, Styrofoam.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan hanya kepada Allah SWT Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan rahmat, nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas akhir dengan judul **“Studi Pengaruh Variasi Agregat Limbah Plastik LDPE/PET/Styrofoam terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Berbasis Semen Portland untuk Aplikasi Breakwater”**. Laporan ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah mendoakan, memberi dukungan, semangat, materiil, dan motivasi.
2. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing penulis dan memberi bekal yang sangat bermanfaat.
4. Mas Irfan P. Hidayat, S.T, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.

7. Teman-teman MT 16 yang selalu menemani dan memberikan banyak kenangan serta dukungan.
8. Dan seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama. Penulis berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan sebaik-baiknya.

Surabaya, 2018
Penulis,

Muhammad Irfan Bibra
02511440000014

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Komposit.....	5
2.1.1 Komponen Komposit	6
2.1.2 Komposit Partikulat.....	7
2.2 <i>Polyethylene Terephthalate</i>	7
2.3 <i>Polyethylene</i>	9
2.4 <i>Styrofoam</i> (Polistirena).....	11
2.5 Semen <i>Portland</i>	13
2.6 Pasir	14
2.7 Beton	15
2.7.1 Klasifikasi Beton	15
2.7.2 Karakteristik Beton.....	16
2.7.3 Beton Ringan.....	17
2.8 Agregat	18
2.9 <i>Breakwater</i>	19
2.9.1 Material Konvensional <i>Breakwater</i>	20
2.9.2 Sandar Mutu <i>Breakwater</i>	21
2.10 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya (State of Art)	21
BAB III METODOLOGI	

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	24
3.2.1 Bahan Penelitian.....	24
3.2.2 Alat Penelitian	27
3.3 Variabel Penelitian	31
3.4 Metode Penelitian.....	32
3.4.1 Persiapan Bahan	32
3.4.1.1 Pengolahan Sampah Plastik LDPE, PET, dan Styrofoam	32
3.4.1.2 Persiapan Pasir	33
3.4.1.3 Pembuatan Agregat Limbah Plastik.....	33
3.4.1.4 Pembuatan Komposit Beton	33
3.4.1.5 Perawatan Komposit Beton.....	34
3.4.2 Proses Pengujian.....	34
3.4.2.1 Pengujian Densitas.....	34
3.4.2.2 Pengujian <i>Water Absorbability</i>	35
3.4.2.3 Pengujian SEM	36
3.4.2.4 Pengujian FTIR.....	36
3.4.2.5 Pengujian <i>Mass Loss</i>	36
3.4.2.6 Pengujian Kuat Tekan.....	37
3.5 Rancangan Pelaksanaan Penelitian	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Uji Densitas.....	39
4.2 Hasil Uji <i>Water Absorbability</i>	42
4.3 Hasil Uji FTIR.....	45
4.4 Hasil Uji SEM	48
4.5 Hasil Uji <i>Mass Loss</i>	52
4.6 Hasil Uji Kuat Tekan	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	xix
LAMPIRAN.....	xxiii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	xxxi
BIODATA PENULIS.....	xxxiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rumus Kimia PET	8
Gambar 2.2 Reaksi Pembentukan PET	9
Gambar 2.3 Struktur <i>Polyethylene</i>	10
Gambar 2.4 Struktur Polistirena	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2 Semen <i>Portland</i>	25
Gambar 3.3 Pasir	25
Gambar 3.4 <i>Low Density Polyethylene</i>	25
Gambar 3.5 <i>Polyethylene Terephthalate</i>	26
Gambar 3.6 <i>Styrofoam</i>	26
Gambar 3.7 Air	27
Gambar 3.8 Timbangan Digital	27
Gambar 3.9 Kompor Portable	27
Gambar 3.10 Cetakan Beton Standar	28
Gambar 3.11 Mesin Pencacah Plastik	28
Gambar 3.12 Gergaji	29
Gambar 3.13 Oven	29
Gambar 3.14 Ayakan Pasir	29
Gambar 3.15 Alat Uji FTIR	30
Gambar 3.16 Mesin Uji SEM	30
Gambar 3.17 Mesin Uji Kuat Tekan	31
Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji Densitas	40
Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji <i>Water Absorbability</i>	43
Gambar 4.3 Hasil Uji FTIR	45
Gambar 4.4 Hasil SEM Variasi 25% Semen/ 30% Pasir/ 45% Agregat Limbah Plastik	49
Gambar 4.5 Hasil SEM Variasi 25% Semen dan 75% Pasir	51
Gambar 4.6 Grafik Hasil Uji <i>Mass Loss</i>	53
Gambar 4.7 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan	57

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Properties</i> PET	9
Tabel 2.2 Sifat Mekanik <i>Low Density Polyethylene</i>	11
Tabel 2.3 Sifat Mekanik dan Sifat Fisis Polistirena.....	13
Tabel 2.4 Jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaian ..	16
Tabel 2.5 Jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Berat Beton, dan Agregat Penyusunnya	18
Tabel 3.1 Komposisi Limbah Plastik Penyusun Agregat Limbah Plastik	31
Tabel 3.2 Variabel Penelitian Komposit.....	32
Tabel 3.3 Rancangan Pelaksanaan Penelitian.....	38
Tabel 4.1 Hasil Uji Densitas	39
Tabel 4.2 Hasil Uji Densitas Komposisi semen 15%	41
Tabel 4.3 Hasil Uji Densitas Komposisi Pasir 30%	41
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>Water Absorbability</i>	42
Tabel 4.5 Hasil Uji <i>Water Absorbability</i> Semen 15%	44
Tabel 4.6 Hasil Uji <i>Water Absorbability</i> Pasir 30%	44
Tabel 4.7 Daerah Serapan Komposit Komposisi 25% Semen, 30% Pasir, dan 45% Agregat Limbah Plastik	46
Tabel 4.8 Daerah Serapan LDPE.....	47
Tabel 4.9 Daerah Serapan PET.....	47
Tabel 4.10 Hasil Uji <i>Mass Loss</i>	52
Tabel 4.11 Hasil Uji <i>Mass Loss</i> Komposisi Semen 15%.....	54
Tabel 4.12 Hasil Uji <i>Mass Loss</i> Komposisi Pasir 30%	55
Tabel 4.13 Hasil Uji Kuat Tekan	56
Tabel 4.14 Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi Semen 15%.....	58
Tabel 4.15 Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi Pasir 30%	59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sudah beberapa dekade isu sampah dan limbah menjadi persoalan global sejak organisasi kesehatan dunia WHO mensosialisasikan upaya mengatasi sampah di dunia. Hingga saat ini pun persoalan sampah masih menjadi persoalan global yang sangat serius. Bahkan Indonesia sendiri masih berupaya keras untuk mengatasi masalah sampah terutama sampah plastik. Indonesia berada pada peringkat ke 2 setelah Cina dalam kontribusi terhadap sampah plastik di dunia. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup, pada periode 2015-2016 sampah plastik menyumbang 16,31% dari total sampah yang diproduksi di Indonesia.

Disisi lain, Indonesia adalah negara kepulauan dengan kurang lebih 17.000 pulau dan 80.000 km garis pantai (daerah yang dikelilingi oleh pantai-pantai) yang merupakan kawasan yang sangat intensif dimanfaatkan untuk kegiatan industri, pelabuhan, perikanan, dan pariwisata. Namun, kondisi pantai-pantai di Indonesia cukup dinamis terhadap perubahan (abrasi) yang seringkali disebabkan oleh angin dan aktivitas gelombang laut ataupun kombinasi keduanya akibat perubahan cuaca dan iklim. Permasalahan ini berdampak pada berkurangnya feasibilitas wilayah pantai (terutama daerah pantai dengan ombak yang relatif besar) untuk dijadikan sebagai daerah pariwisata dan pemukiman (Karima, 2017).

Kedua permasalahan ini, dapat ditanggulangi secara simultan dengan cara memanfaatkan dan merekayasa limbah plastik sebagai bahan konstruksi yang dapat digunakan sebagai penahan dan pemecah gelombang laut sehingga abrasi pantai dapat direduksi secara signifikan. Prinsip penahanan dan pemecahan gelombang laut adalah menahan, mengurangi, atau



menghilangkan pengaruh angin, arus, pasang surut dan gelombang yang datang dari laut /perairan lepas yang disebut sebagai *breakwater* (Zendrato, 2016). Struktur penahan gelombang ini dapat dibuat dari struktur yang masif/kaku dan bisa juga dari struktur yang fleksibel (tanaman hidup, struktur apung, dan lainnya). Penggunaan struktur *breakwater* sangat efektif digunakan untuk memecah gelombang laut dan sejauh ini telah diaplikasikan hampir diseluruh wilayah pantai di banyak negara. Struktur *breakwater* dapat dirancang dan dibuat secara praktis dan ekonomis. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan limbah plastik yang kemudian dibentuk sebagai komposit.

Pada penelitian ini akan dibuat bahan komposit menggunakan limbah plastik untuk aplikasi struktur konstruksi penahan dan pemecah gelombang. Performa untuk menahan dan memecah gelombang laut bahan komposit berbasis semen *Portland* dengan agregat limbah plastik LDPE/PET/Styrofoam ini diuji dan dianalisis sifat mekanik dan fisisnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diimplementasikan di daerah-daerah pantai/pesisir dengan amplitudo dan frekuensi gelombang laut yang relatif besar sekaligus agar dapat dikembangkan dan dioptimalkan potensinya sebagai daerah pariwisata maupun pemukiman.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi agregat limbah plastik (PET, LDPE, dan Styrofoam) pada komposit beton terhadap sifat fisis (berat jenis dan daya serap air) dan mekanis (kekuatan kuat tekan) beton struktural ringan untuk aplikasi bahan penahan dan pemecah gelombang laut?
2. Material komposit dengan komposisi manakah yang memenuhi kriteria dan dapat diaplikasikan sebagai beton



struktural ringan untuk aplikasi bahan penahan dan pemecah gelombang laut?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan-bahan pengotor dalam plastik yang didapatkan dari limbah secara spesifik diabaikan dan komposisi dalam bahan plastik untuk kategori plastik yang sama dianggap seragam.
2. Campuran komposit yang terbentuk dari agregat limbah plastik dengan *binder* semen *portland* dianggap seragam.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Menganalisis pengaruh variasi penambahan limbah plastik (PET, LDPE, dan Styrofoam) pada campuran bahan beton terhadap sifat fisis (densitas dan *water absorbability*) dan sifat mekanis (kekuatan tekan dan *mass loss*) beton struktural untuk aplikasi bahan penahan dan pemecah gelombang laut.
2. Menganalisis komposisi komposit optimal sebagai aplikasi penahan dan pemecah gelombang laut.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menciptakan komposit yang menggunakan limbah plastik yang dapat memenuhi sifat yang dibutuhkan untuk aplikasi beton.
2. Memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan dari pembuatan komposit yang dapat memberikan dampak lingkungan yang positif dengan adanya pengurangan sampah plastik dalam jumlah yang besar.
3. Dapat dijadikan alternatif untuk pengolahan limbah plastik yang efisien dan ramah lingkungan.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Material komposit adalah suatu material yang terdiri dari dua jenis bahan atau lebih yang mempunyai sifat atau struktur berbeda dan dicampur secara fisika yang membentuk ikatan mekanik. Struktur komposit akan homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Komposit memperbaiki sifat-sifat mekanik dan fisik sehingga lebih unggul daripada material pembentuknya. Material komposit terdiri dari dua fasa yaitu matriks yang bersifat kontinu dan mengikat *reinforce* dan memberi bentuk komposit. Dan juga fasa *reinforce* sebagai fasa diskontinu yang bersifat lebih kuat dan lebih kaku dari matriks.

Berdasarkan jenis *reinforce*, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu:

- Komposit Partikel, adalah komposit yang tersusun atau matriks kontinu dan *reinforce* yang diskontinu yang berbentuk partikel, fiber pendek atau whiskers.
- Komposit Serat, adalah komposit yang tersusun atas matriks kontinu dan memiliki penguat berbentuk serat/fiber panjang.
- Komposit Laminat, adalah komposit yang terdiri dari beberapa lapisan lamina berpenguat fiber atau lamina berpenguat partikel atau lamina logam atau kombinasi lamina-lamina dengan material yang berbeda di mana lapisan saling terikat.

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. *MMC: Metal Matriks Composite* (menggunakan *matriks* logam) Metal Matriks Composite adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam.
2. *CMC: Ceramic Matriks Composite* (menggunakan *matriks* keramik) CMC merupakan material dua fasa dengan satu



fasa berfungsi sebagai penguat dan satu fasa sebagai matriks dimana matriksnya terbuat dari keramik.

3. *PMC: Polymer Matriks Composite* (menggunakan *matriks* polimer). Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan pada material komposit. Karena memiliki sifat yang lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan.

2.1.1 Komponen Komposit

a) *Reinforce*

Reinforce adalah penguat yang ditempatkan didalam matriks pada komposit. Penguat tidak selalu berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik komposit dan memberikan efek penguatan, tetapi juga bisa untuk mengubah sifat-sifat fisik lainnya seperti konduktivitas termal, ketahanan aus, dan lain-lain. Serat penguat dapat terbuat dari logam, keramik, dan polimer yang diubah menjadi serat. Serat terdiri dari ratusan bahkan ribuan filamen, masing-masing filamen memiliki diameter 5 sampai 15 μm , sehingga dapat diproses lebih lanjut.

Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Serat pendek, dengan panjang fraksi dalam milimeter atau beberapa centimeter. Contohnya *felts*, *mats*, dan serat pendek untuk *injection molding*.
2. Serat panjang, dipotong selama proses fabrikasi material komposit, biasanya berupa anyaman (*woven*).

Serat dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu serat sintetis dan serat alami. Kedua jenis serat itu digunakan sebagai penguat atau pengisi pada material komposit. Serat sintetis banyak berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi.

Serat alami merupakan serat yang terbuat dari bahan-bahan alami yang terdapat di alam seperti serabut kelapa, pelepah pisang, serat pohon, residu kayu, dan lain-lain. Penggunaan serat alami bukanlah memberikan efek penguatan, tetapi hanya penambah massa komposit sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah bahkan menurunkan kekuatan dan kekakuan matriks sebelumnya.



b) Matriks

Matriks merupakan fasa yang memberikan bentuk pada struktur komposit dengan cara mengikat penguat atau serat bersama-sama. Karakteristik yang harus dimiliki matriks umumnya adalah ulet, kekuatan rendah apabila dibandingkan penguat, dan dapat mentransfer tegangan kepada penguat. Selain itu matriks juga melindungi penguat dari kerusakan yang diakibatkan oleh lingkungan maupun kerusakan secara mekanis dalam batasan tertentu. Matriks harus mampu membeku pada temperatur dan tekanan yang wajar untuk mengikat serat penguat. Bahan matriks yang umum digunakan pada komposit adalah matriks logam, matriks polimer, dan matriks keramik (Sulistijono, 2012).

2.1.2 Komposit Partikulat

Komposit partikulat adalah komposit yang terdiri dari matriks kontinyu dan *reinforce* yang diskontinyu dengan bentuk partikel, fiber, atau whiskers. Peran partikel dalam komposit ini adalah untuk membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastis matriks. Jika diaplikasikan pada komposit dengan matriks yang ulet, partikel akan berperan untuk meningkatkan kekakuan komposit, dan begitu juga sebaliknya. Adapun beberapa jenis partikel penguat/pengisi adalah:

a. Partikulat

Partikel dapat berbentuk mono atau poli kristalin, bentuknya bervariasi (spherical, plate) dan diameternya lebih besar dari 1 mikrometer.

b. Fiber Pendek

Fiber pendek berbentuk silinder, dengan harga yang murah dan cepat dalam fabrikasi.

c. Whiskers

Kristal tunggal (monokristal) yang memanjang, dengan diameter yang kurang dari 1 mikrometer.

2.2 Polyethylene Terephthalate

Polyethylene Terephthalate (PET) adalah polimer thermoplastik yang paling umum digunakan dalam kehidupan.

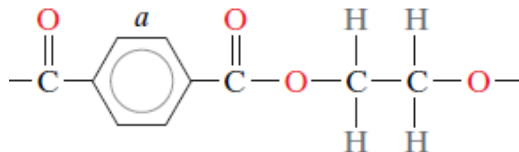


PET merupakan keluarga *polyester* seperti halnya *Polycarbonate*. PET sering disebut *polyester* sehingga menimbulkan kebingungan karna resin *polyester* adalah material *thermosetting*. PET sendiri merupakan polimer yang transparan, dengan sifat mekanik yang baik dan kestabilan dimensi yang bagus pada berbagai pembebanan.

PET film bersifat kuat, tahan nyala api, tidak beracun, sifat permeabilitas terhadap gas. PET mempunyai kekuatan dan kekakuan yang tinggi, ketahanan bahan kimia dan panas yang baik, serta mempunyai sifat elektrik yang baik. PET memiliki *absorbability* yang rendah. Pembuatan PET dapat menggunakan ekstrusi pada suhu tinggi 518- 608 °F, selain itu juga dapat dibuat dengan *injection moulding*. (Mujiarto, 2005).

Sifat-sifat tersebut yang menyebabkan PET banyak digunakan sebagai aplikasi dalam botol, lapisan film yang stabil secara termal (contoh: kapasitor, film *base*, film kaset, dll), dan komponen elektronika. PET juga digunakan pada produksi fiber untuk aplikasi pada industri tekstil.

PET termasuk polimer termoplastik yang memiliki sifat fisik yang bagus. PET diproduksi sekitar 18% dari total keseluruhan produksi polimer di dunia. Lebih dari 60% produksinya adalah untuk serat fiber dan botol, yang mengkonsumsi sekitar 30% dari permintaan PET secara global (Sulyman, 2016). **Gambar 2.1** menunjukkan rumus kimia PET:

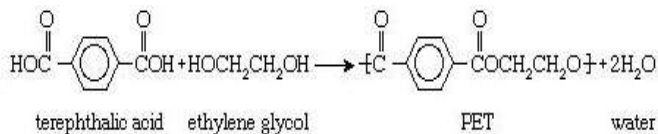


Gambar 2.1 Rumus Kimia PET (Callister,2014)

PET resin sendiri terbuat dari *ethylene glycol* dan *terephthalic acid*. Orientasi dari PET adalah meningkatkan kekuatan tarik dan *water vapor transition* secara signifikan (Mendivil-Escalante & Gomez Soberon, 2015).



Adapun reaksi pembentukan PET ditunjukkan pada **Gambar 2.2**:



Gambar 2.2 Reaksi Pembentukan PET (Margolis,2006)

Gambar 2.2 menunjukkan proses reaksi pembentukan PET. Keberadaan *aromatic ring* yang besar pada *repeating unit* PET memberikan kekuatan dan kekakuan pada PET. Kekakuan pada serat PET membuatnya sangat tahan terhadap deformasi. Pada berat molekul yang lebih besar, PET dapat dibuat menjadi plastik berkekuatan tinggi yang dapat dibentuk dengan beberapa metode umum yang biasa dilakukan untuk thermoplastik lainnya (Margolis,2006). **Tabel 2.1** menunjukkan data *properties* dari PET:

Tabel 2.1 *Properties* PET (Phoenix Technologies International, 2015)

Sifat	Nilai
<i>Density</i> (g/cm ³)	1.3 - 1.4
<i>Young's Modulus of Elasticity</i> (10 ⁹ N.m ²)	2 – 2.7
<i>Tensile Modulus</i> (GPa)	2 – 4
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	80
<i>Melting point</i> °C	250
<i>Hardness – Rockwell</i>	M94 -101
<i>Izod Impact Strength</i> (J/m)	13 – 35

2.3 Polyethylene

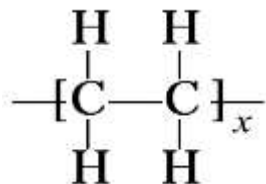
Ethylene ialah monomer paling sederhana yang akan berpolimerisasi. Melalui polimerisasi adisi yang diinisiasi



radikal-bebas pada tekanan tinggi (1000-3000 atm) dan suhu tinggi (300-500°C), senyawa ini membentuk polietilena.

Polietilena yang terbentuk dengan cara ini bukanlah rantai linier yang sempurna sebagaimana tersirat dari persamaannya yang sederhana. Radikal bebas sering mencabut hidrogen dari bagian tengah rantai dalam sintesis ini, sehingga polietilennya sangat bercabang dengan rantai samping hidrokarbon yang bervariasi panjangnya. Jenis polietilena ini dinamakan polietilena kerapatan rendah (*low density polyethylene*, LDPE) sebab kesulitan dalam mengemas rantai sampingnya yang tak beraturan ini menyebabkan kerapatannya lebih rendah ($<0,94 \text{ g cm}^3$) daripada polietilena linier sempurna. Ketidakteraturan ini membuatnya relatif lembut, sehingga kegunaan utamanya ialah dalam pembungkusan, plastik pengemas, kantung sampah, dan botol semprot, yang kelembutannya memang diinginkan, dan bukan suatu kelemahan (Nachtrieb, 2003).

Sedangkan *high density polyethylene* (HDPE) memiliki cabang alkil yang pendek dan struktur yang teratur. Karena percabangan yang rendah dan struktur yang teratur ini, rantai HDPE bisa dikemas lebih efisien, material yang dihasilkan memiliki *crystallinity* yang lebih tinggi (umumnya sampai 90%), *density* yang lebih tinggi (0,96), dan meningkatkan ketahanan kimia, kekerasan, kekakuan, *melting point* (sekitar 130°C), dan kekuatan Tarik (Carraher, 2003). **Gambar 2.3** menunjukkan struktur *polyethylene*:



Gambar 2.3 Struktur *Polyethylene* (Brazel, 2012)



Low Density Polyethylene (LDPE) memiliki sifat mekanik yang berbeda dari HDPE, **Tabel 2.2** menjelaskan sifat dari LDPE:

Tabel 2.2 Sifat Mekanik *Low Density Polyethylene* (LDPE) (Prasad, 1999)

No	Sifat	Nilai
1	Density (g/cm^3)	0.910 - 0.935
2	<i>Melting Temperature</i> ($^{\circ}\text{C}$)	105 – 115
3	<i>Compressive Strength</i> (MPa)	18 – 25
4	<i>Flexural Modulus</i> (MPa)	240 – 330
5	<i>Elongation at Break</i> (%)	100 – 800
6	Tensile Modulus (MPa)	102 – 310

Sifat fisik *high density polyethylene* (HDPE) dan *low density polyethylene* (LDPE) sangat berbeda. Pencabangan dapat menurunkan kekristalan, massa jenis, titik lunak, dan titik leleh kristalin. LDPE bersifat kenyal, tak mudah sobek, dan tahan terhadap kelembapan dan bahan kimia, sehingga banyak dipakai untuk film atau pembungkus, dus, isolator listrik, pelapis kawat dan kabel, dan sebagainya. HDPE yang daya regang dan kekakuannya besar, digunakan untuk membuat pipa, tabung, serta berbagai bejana dan benda lainnya (Cowd, 1982).

2.4 Styrofoam (Polistirena)

Polistirena adalah salah satu contoh polimer adisi yang disintesis dari monomer stirena. Pada suhu ruangan, polistirena biasanya bersifat termoplastik padat dan dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi sehingga dapat dimolding atau 'extrusion', kemudian kembali menjadi padat (Rina, 2008). Polistirena merupakan polimer sintetik yang transparan dengan sifat fisik dan sifat termal yang baik, dan relatif tahan terhadap degradasi baik oleh mikroorganisme di dalam tanah maupun oleh sinar matahari.

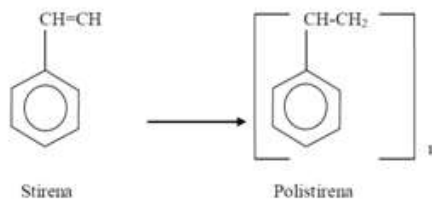
Polistirena merupakan polimer yang mempunyai sifat transparan, kaku dan getas dan memiliki kestabilan dimensional



yang baik sehingga polistirena sangat sulit mengalami perubahan bentuk. Disamping itu juga polistirena memiliki absorpsi yang sangat rendah terhadap uap air, asam, basa, alkohol dan detergen. Polistirena yang bebas dari aditif bersifat non-toksik serta tidak menunjang terjadinya pertumbuhan jamur dan bakteri.

Keunggulan lain dari polistirena adalah polistirena mempunyai ketahanan yang baik terhadap panas, memiliki temperatur transisi gelas berkisar $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan titik lelehnya $230 - 240\text{ }^{\circ}\text{C}$. Polistirena tahan terhadap cahaya, akan tetapi bersifat rapuh bila diradiasi dengan sinar UV setelah 350 jam. Walaupun terjadi pemutusan rantai makromolekul akibat radiasi sinar UV, akan tetapi distribusi berat molekulnya tidak berubah. (Rina, 2008)

Sifat dari suatu polimer ditentukan oleh struktur polimer dan susunan rantainya. Jika struktur rantai polimer tersusun secara acak, maka polimer tersebut digolongkan sebagai polimer ataktik, dan polimer ataktik biasanya dibuat dengan metode polimerisasi radikal bebas. Jika polistirena disintesis menggunakan katalis Ziegler-Natta maka dihasilkan polistirena yang bersifat isotaktik. Pada umumnya polistirena yang dihasilkan bersifat amorf dan semikristalin. Struktur polistirena dapat dilihat pada **Gambar 2.4**:



Gambar 2.4 Struktur polistirena (Wicaksono,2012)

Namun kekurangan dari sifat polistirena adalah umumnya larut dalam pelarut hidrokarbon baik alifatik maupun



aromatik, sehingga polistirena harus dihindarkan dari beberapa bahan makanan seperti mentega dan minyak kelapa yang berperan sebagai pelarut organik karena polistirena merupakan polimer yang bersifat non polar, dan pelarut yang terklorinasi juga akan dapat merusak permukaan polistirena (Rina, 2008). Berikut ini adalah sifat mekanik dan sifat fisik dari polistirena yang ditunjukkan pada **Tabel 2.3**:

Tabel 2.3 Sifat Mekanis dan Sifat Fisik polistirena (makeitfrom.com)

Sifat	Nilai
Density	1.0 g/cm ³
Melting Point	240 °C
Ultimate Tensile Strength	32 to 44 Mpa
Thermal Conductivity	0.14 to 0.22 W/m-K
Elongation at Break	1.8 to 40 %

2.5 Semen Portland

Semen portland ialah semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menghasilkan klinker terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolisis (dapat mengeras jika bereaksi dengan air) dengan gips sebagai bahan tambahan. Semen merupakan bahan pengikat yang paling terkenal dan paling banyak digunakan dalam proses konstruksi beton. Semen yang umum dipakai adalah semen tipe I dan ketergantungan kepada pemakaian semen jenis ini masih sangat besar. Pada dasarnya semen portland terdiri dari 4 unsur yang paling penting, yaitu:

1. Trikalsium Silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$

Sifatnya hampir sama dengan sifat semen yaitu jika ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras. C_3S menunjang kekuatan awal semen dan



menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 58 kalori/gram setelah 3 hari.

2. Dikalsium Silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$

Pada saat penambahan air setelah reaksi yang menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan panas 12 kalori/gram setelah 3 hari. Pasta akan mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C_3S .

3. Trikalsium Aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$

Unsur ini apabila bereaksi dengan air akan menimbulkan panas hidrasi tinggi yaitu 212 kalori/gram setelah 3 hari. Perkembangan kekuatan terjadi satu sampai dua hari tetapi sangat rendah.

4. Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

Unsur ini saat bereaksi dengan air berlangsung sangat cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi 68 kalori/gram. Warna abu-abu pada semen disebabkan oleh unsur ini. Silikat dan aluminat yang terkandung dalam semen portland jika bereaksi dengan air akan menjadi perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk media perekat ini disebut dengan hidrasi. Reaksi kimia semen bersifat exothermic dengan panas yang dihasilkan mencapai 110 kalori/gram. Akibatnya dari reaksi eksotermis terjadi perbedaan temperatur yang sangat tajam sehingga mengakibatkan retak-retak kecil (microcrack) pada mortar (Farhan, 2016).

2.6 Pasir

Pasir berfungsi sebagai bahan pengisi yang berasal dari pasir alami. Pasir memiliki massa jenis sebesar $2,6 \text{ g/cm}^3$. Umumnya pasir mengandung SiO_2 (Sari, 2013). Seperti halnya bahan baku yang lain, maka pasir juga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a) Kadar lumpur yang ada pada pasir tidak lebih dari 5%.



- b) Butir pasir yang dipakai dalam campuran beton harus merupakan butiran yang tajam dan kasar serta harus bersifat kekal, artinya tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh alam, seperti terik matahari atau hujan.
 - c) Penimbunan pasir harus dipisah dari material lainnya, karena pasir yang digunakan harus dalam keadaan bersih.
 - d) Tidak mengandung banyak bahan organik.
 - e) Secara visual harus bersih dan tidak bercampur kotoran.
- (Pertiwi, 2011)

2.7 Beton

Beton adalah batu buatan manusia yang terbuat dari campuran gel material, agregat kasar-halus, dan air (jika dibutuhkan, *additive* dan mineral bisa ditambahkan). Campuran ini digabungkan dengan rasio yang sesuai, dan akan mengeras dan memadat. Salah satu contoh yang paling sering dipakai pada konstruksi adalah *concrete* yang dibuat dengan campuran gel material, agregat (pasir-kerikil), dan air. Beton adalah salah satu jenis dari komposit *large-particle*. Beton terdiri dari partikel agregat yang terikat pada *solid body* dengan sebuah media semen. Jenis polimer yang paling banyak ditemukan adalah yang terbuat dari semen *Portland* dan *Asphaltic* di mana agregatnya berupa kerikil dan pasir (Zhang, 2010).

2.7.1 Klasifikasi Beton

Beberapa klasifikasi beton adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan jenis material semen: beton semen, beton gypsum, beton aspal, dan beton polimer.
2. Berdasarkan massa jenisnya: *Heavy concrete* (massa jenis $> 2500 \text{ kg/m}^3$), beton biasa (massa jenis 1900 kg/m^3 - 2500 kg/m^3), beton ringan (massa jenis dari 600 kg/m^3 - 1900 kg/m^3), dan beton super ringan (massa jenis $< 600 \text{ kg/m}^3$).
3. Berdasarkan aplikasinya: Beton struktural, beton hidrolik, beton hias, dan beton khusus (tahan panas,



- tahan asam, tahan alkali, dan beton anti radiasi dan sebagainya).
4. Berdasarkan metode konstruksi: Beton pompa, beton semprot, beton pemadatan bergetar, beton sentrifugal dan sebagainya.
 5. Berdasarkan campuran: beton fly ash, beton silika, ledakan halus beton terak tungku, beton serat, dan lain-lain.

Adapun jenis-jenis beton berdasarkan berat jenis dan pemakaiannya dijelaskan dalam **Tabel 2.4**:

Tabel 2.4 Jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaian (Tjokrodinuljo,2003)

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (kg/m^3)	Pemakaian
Beton Sangat Ringan	< 1000	Non-Struktur
Beton Ringan	1000-2000	Struktur Ringan
Beton Normal	2300-2500	Struktur
Beton Berat	>3000	Perisai Sinar X

2.7.2 Karakteristik Beton

Karakteristik beton antara lain:

1. Baik digunakan untuk campuran baru yang punya plastisitas baik yang dapat dicetak kedalam komponen dan struktur dalam berbagai ukuran dan bentuk.
2. Murah: bahan baku melimpah dan tersedia. Lebih dari 80% dari beton adalah pasir dan kerikil yang sumbernya banyak dan konsumsi energi yang kecil.
3. Kekuatan tinggi dan tahan lama: kekuatan dari beton biasa (*ordinary concrete*) adalah 20-55 MPa dan tahan lama..



4. Mudah disesuaikan: beton dengan aplikasi yang berbeda-beda dapat dibuat hanya dengan mengubah variasi jenis dan jumlah kuantitas material penyusunnya untuk memenuhi berbagai kebutuhan konstruksi. Baja dapat ditambahkan ke beton untuk meningkatkan kekuatannya, dan jenis beton ini adalah salah satu jenis material komposit (beton bertulang) yang dapat meningkatkan kekuatan tarik dan *bending* untuk memenuhi kebutuhan berbagai macam struktur.
5. Ramah lingkungan: beton dapat memanfaatkan limbah industri seperti terak, *fly ash* dan lainnya untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Kekurangan utamanya adalah berat yang tinggi, kekuatan tarik yang rendah, rapuh, dan mudah retak.

2.7.3 Beton Ringan

Beton ringan adalah beton yang memiliki berat jenis lebih kecil daripada beton umumnya. Beton ringan pada dasarnya memiliki rongga dalam beton yang jumlahnya besar. Menurut SNI-03-2847-2002, beton ringan adalah beton yang mengandung agregat ringan dan mempunyai berat jenis tidak lebih dari 1900 kg/m³. Beton ringan dapat dibedakan menjadi 3 jenis dasar berikut:

1. Beton agregat ringan
2. Beton busa
3. Beton tanpa agregat halus (non pasir)

Pengurangan densitas pada beton ringan didapatkan karena munculnya *voids*, baik di agregat, adukan semen, atau pada kekosongan antar partikel agregat kasar. Jelas bahwa *voids* mengurangi kekuatan dari beton ringan jika dibandingkan dengan beton normal pada umumnya, tetapi banyak aplikasi yang dapat menggunakan beton ringan. Karena adanya *voids*, beton ringan memiliki sifat insulasi termal dan durabilitas yang bagus tetapi tidak terlalu baik sifat ketahanan abrasinya (Neville, 2010).



Menurut SK SNI 03-3449-2002, jenis-jenis beton ringan berdasarkan kuat tekan, berat beton, dan agregat penyusunnya dijelaskan dalam **Tabel 2.5**:

Tabel 2.5 Jenis Beton Ringan berdasarkan Kuat Tekan, Berat beton, dan Agregat Penyusunnya (SNI-03-3449-2002)

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (MPa)	Berat Isi (Kg/m ³)	
Struktural • Minimum • Maksimum	17,24 41,36	1400 1850	Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan batu serpih, batu apung, batu sabak, terak besi atau abu terbang.
Struktural Ringan • Minimum • Maksimum	6,89 17,24	800 1400	Agregat batu mangan alami seperti scoria atau batu apung.
Struktur sangat ringan, sebagai isolasi, maksimum		800	Pendit atau Vermikulit.

2.8 Agregat

Agregat adalah bahan butiran, sebagian besar berasal dari batu alam (batu pecah/ kerikil alami) dan pasir, meskipun bahan sintesis lain digunakan dalam batas tertentu terutama pada beton ringan. Selain penggunaannya sebagai pengisi yang ekonomis, agregat umumnya menghasilkan beton dengan stabilitas dimensi yang lebih baik dan tahan aus (Mindess, 2003).



Menurut SNI-1969-2008, Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir maksimal sebesar 4,75 mm. Sementara itu agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm sampai 40 mm.

Perbandingan antara berat agregat halus dan agregat kasar pada campuran beton diperlukan untuk memperoleh gradasi agregat campuran yang baik. Perbandingan agregat halus dan agregat kasar yang baik adalah perbandingan yang dapat masuk ke dalam kurva standar seperti yang terdapat pada Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton.

Nilai perbandingan volume yang terlalu tinggi antara agregat kasar terhadap agregat halus dapat mengakibatkan segregasi dan *workability* yang rendah, campuran kasar dan tidak mudah dalam penyelesaian. Sebaliknya, agregat halus yang terlalu banyak menyebabkan *workability* tinggi, tetapi campuran yang kelebihan pasir membuat daya tahan beton menjadi rendah. (Neville dan Brooks, 2010).

Salah satu jenis agregat adalah agregat ringan adalah agregat yang dalam keadaan kering dan gembur mempunyai berat isi sebesar $1,100 \text{ gr/cm}^3$. Menurut SNI-2461-2014, ada dua tipe agregat ringan yaitu agregat yang disiapkan dengan proses pengembangan dan agregat yang diperoleh dari pemrosesan alami. Agregat ringan yang digunakan sebagai agregat halus untuk beton harus memenuhi standar densitas maksimal sebesar $1,120 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan apabila digunakan sebagai agregat kasar harus memenuhi standar densitas maksimal sebesar $0,88 \text{ gr/cm}^3$.

2.9 Breakwater

Breakwater adalah konstruksi bangunan yang didesain untuk memecahkan ombak/gelombang dengan cara mereduksi sebagian energi gelombang melalui mekanisme refleksi, absorpsi



dan transmisi. *Breakwater* dapat dikategorikan menjadi dua, yakni:

a) *Breakwater sambung pantai (Shore-connected Breakwater)*

Tipe ini banyak digunakan pada perlindungan perairan pelabuhan. perlu ditinjau karakteristik gelombang di beberapa lokasi di sepanjang *breakwater*, seperti halnya pada perencanaan groin dan jetty.

b) *Breakwater lepas pantai (Offshore Breakwater)*

Breakwater lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dan serangan gelombang. Tergantung pada panjang pantai yang dilindungi, *breakwater* lepas pantai dapat dibuat dari satu *breakwater* atau suatu seri bangunan terdiri dari beberapa ruas *breakwater* (Anas, 2014).

2.9.1 Material Konvensional *Breakwater*

Material yang dapat digunakan sebagai *breakwater* lepas pantai tergantung pada spesifikasi tipe bentuk struktur nya, sisi tegak atau sisi miring. Pada bentuk struktur tipe sisi tegak, pemecah gelombang bisa dibuat dari material- material seperti pasangan batu, sel turap baja yang didalamnya di isi tanah atau batu, tumpukan buis beton, dinding turap baja atau beton, kaisan beton dan lain sebagainya. Sementara untuk tipe bangunan sisi miring, *breakwater* lepas pantai bisa dibuat dari beberapa lapisan material yang di tumpuk dan di bentuk sedemikian rupa (pada umumnya apabila dilihat potongan melintangnya membentuk trapesium) sehingga terlihat seperti sebuah gundukan batu besar, dengan lapisan terluar dari material dengan ukuran butiran sangat besar.

Konstruksi *breakwater* terdiri dari beberapa lapisan yaitu:

1. Inti (*core*) pada umumnya terdiri dari agregat galian kasar, tanpa partikel-partikel halus dari debu dan pasir.
2. Lapisan bawah pertama (*under layer*) disebut juga lapisan penyaring (*filter layer*) yang melindungi bagian inti (*core*) terhadap penghanyutan material, biasanya terdiri dari



potongan-potongan tunggal batu dengan berat bervariasi dari 500 kg sampai dengan 1 ton.

3. Lapisan pelindung utama (*main armor layer*) seperti namanya, merupakan pertahanan utama dari *breakwater* terhadap serangan gelombang pada lapisan inilah biasanya batu-batuan ukuran besar dengan berat antara 1-3 ton atau bisa juga menggunakan batu buatan dari beton dengan bentuk khusus dan ukuran yang sangat besar seperti tetrapod, quadripod, dolos, tribar, xbloc accropode dan lain-lain (Andri, 2017).

2.9.2 Sandar Mutu *Breakwater*

Belum ada standar yang spesifik untuk aplikasi bahan *breakwater* dari bahan komposit beton berpenguat plastik. Namun menurut *Department of Fisheries and Oceans Small Craft Harbours Branch Burlington, Ontario*, bahan komposit beton untuk aplikasi *breakwater* harus memenuhi kekuatan tekan sebesar 30 MPa setelah berumur 28 hari. Ini berarti kekuatan tekan saat berumur 14 hari adalah sebesar 26.4 MPa. Sedangkan untuk dimensi *breakwater* menyesuaikan gelombang air laut. Dimensi *breakwater* umumnya adalah 40cm x 40cm x 40cm dan dapat lebih besar lagi tergantung pada kuat gelombang laut.

2.10 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

Penelitian terhadap *breakwater* sudah banyak dilakukan oleh para peneliti, namun belum ada penelitian untuk membuat *breakwater* secara khusus dengan pemanfaatan limbah plastik. Sebuah penelitian telah penanganan erosi air laut juga telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan *floating breakwaters* untuk melindungi pelabuhan dan membuat perairan menjadi lebih tenang. *Floating breakwater* disusun miring sehingga dapat secara efektif meredam gelombang air laut yang datang dengan volume yang tidak terlalu besar yaitu 245,05 m³ per 1 meter panjangnya. (Febriansyah, Perencanaan Pemecah Gelombang (*Breakwater*) di Pelabuhan Merak. 2012)



Sedangkan penggunaan limbah plastik sudah dilakukan dalam penelitian pembuatan komposit beton. Penelitian telah dilakukan di Ghana, yaitu dengan menggunakan sampah plastik PET dari botol minuman sebagai *binder* maupun agregat dalam pembuatan *paving blocks*. Dari hasil penelitian ini, diketahui bahwa penggunaan PET sebagai *binder* memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi yaitu 262 kN. Sedangkan untuk PET sebagai agregat *paving blocks*, kekuatan tekan yang lebih kecil yaitu 140 kN. (Tuffour, Development of Pavement Blocks Using Waste Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Bottles, 2016)

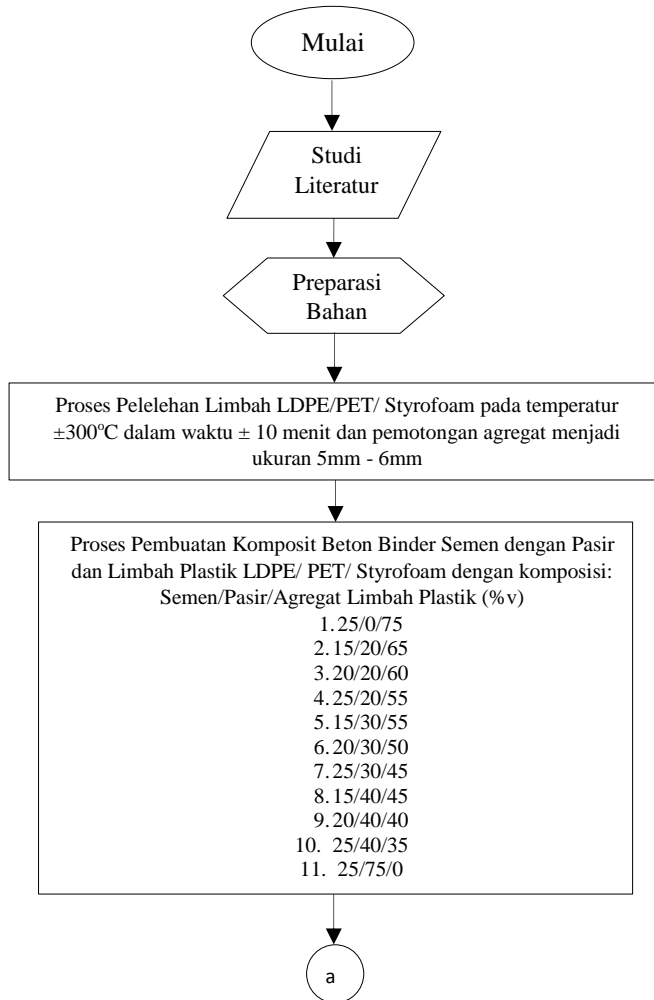
Penggunaan sampah plastik LDPE dan PET sebagai binder thermoplastik dalam pembuatan komposit juga telah diteliti. Sampah plastik LDPE berupa kantung plastik dan PET berupa sampah botol plastik. Hasil penelitian ini adalah penambahan *binder* thermoplastik LDPE dan PET ini cenderung meningkatkan sifat mekanik dan sifat fisik dari material komposit. Kekuatan kompresi terbesar adalah 15,68 MPa yang dapat diaplikasikan pada beton ringan struktural dan *paving block* kategori C untuk pejalan kaki. (Dwiki, Studi Pengaruh Penambahan *Binder Thermoplastic* LDPE Dan PET Terhadap Sifat Mekanik Komposit Partikulat Untuk Aplikasi Material Bangunan, 2018)

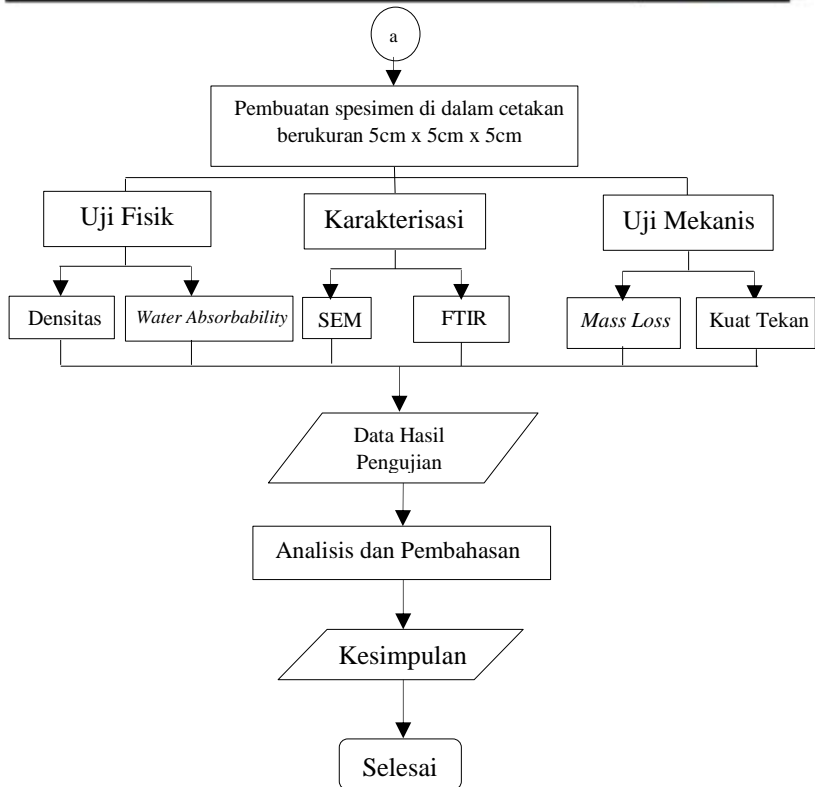
Selain itu, penggunaan *styrofoam* pada pembuatan material komposit juga telah dilakukan. *Styrofoam* digunakan sebagai *densifier* pada pembuatan material komposit dengan *binder* adalah sampah plastik LDPE. Hasil dari penelitian ini adalah dengan penambahan *Styrofoam* membuat nilai densitas dan penyerapan air turun. Namun, nilai kekuatan kompresi dan kekuatan lentur dari material komposit mengalami peningkatan. Aplikasi dari material komposit ini memenuhi kriteria *paving block* kategori C untuk pejalan kaki. (Suswanto, Analisis Pengaruh Penambahan Fraksi Berat Termoset Dan Styrofoam pada Komposit Berbasis Termoplastik (LDPE) terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Untuk Aplikasi Material Konstruksi, 2018)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian yang akan dilakukan:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Semen Portland

Semen portland yang digunakan adalah jenis *Portland Cement Composite* yang diproduksi oleh PT. Indocement.

Gambar 3.2 menunjukkan semen *Portland* yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.2 Semen Portland

2. Pasir

Pasir yang digunakan adalah jenis pasir lumajang yang didapatkan di toko material. **Gambar 3.3** menunjukkan pasir yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.3 Pasir

3. *Low Density Polyethylene* (LDPE)

LDPE yang digunakan adalah limbah kantong plastik yang didapatkan dari tempat pengumpulan sampah. **Gambar 3.4** menunjukkan LDPE yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.4 *Low Density Polyethylene*



4. *Polyethylene Terephthalate (PET)*

PET yang digunakan merupakan limbah gelas plastik kemasan air mineral yang ukurannya sudah dikecilkan.

Gambar 3.5 menunjukkan PET yang digunakan pada penelitian ini yang sudah dipotong ukurannya menjadi lebih kecil:



Gambar 3.5 *Polyethylene Terephthalate*

5. *Styrofoam*

Styrofoam yang digunakan adalah limbah *Styrofoam* yang sudah tidak terpakai. **Gambar 3.6** menunjukkan *Styrofoam* yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.6 *Styrofoam*

6. Air (katalisator reaksi pengerasan/curing)

Air digunakan untuk membantu proses pengikatan semen terhadap agregat. **Gambar 3.7** menunjukkan air yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.7 Air

3.2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Timbangan Digital

Alat ini digunakan untuk mengukur berat komposisi beton. **Gambar 3.8** menunjukkan timbangan digital yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.8 Timbangan Digital

2. Kompor Portable

Alat ini digunakan untuk memanaskan potongan-potongan kecil limbah plastik agar menjadi cair. **Gambar 3.9** menunjukkan kompor portable yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.9 Kompor Portable



3. Cetakan Beton Standar
Alat ini digunakan untuk membentuk spesimen uji untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan yang memiliki dimensi 5cm x 5cm x 5cm. cetakan beton standar ini milik Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS. **Gambar 3.10** menunjukkan cetakan beton yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.10 Cetakan Beton Standar

4. Mesin pencacah plastik
Mesin pencacah plastik yang untuk mencacah plastik menjadi ukuran yang kecil sehingga mudah dilelehkan. **Gambar 3.11** menunjukkan mesin pencacah plastik milik pengumpul sampah yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.11 Mesin Pencacah Plastik

5. Gergaji
Gergaji digunakan untuk mengecilkan ukuran agregat limbah plastik LDPE/PET/Styrofoam. **Gambar 3.12** menunjukkan gergaji yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.12 Gergaji

6. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan spesimen saat pengujian *water absorbability*. **Gambar 3.13** menunjukkan oven yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.13 Oven

7. Ayakan Pasir

Ayakan pasir untuk membuat ukuran partikel pasir menjadi homogen. Ayakan pasir ini berukuran 141 mesh. **Gambar 3.14** menunjukkan ayakan pasir yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.14 Ayakan Pasir



8. Alat uji FTIR

Alat uji FTIR digunakan untuk mengetahui nilai gugus fungsi hasil penelitian. Alat uji FTIR yang digunakan pada penelitian ini milik Departemen Teknik Material FTI-ITS. **Gambar 3.15** menunjukkan alat uji FTIR yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.15 Alat Uji FTIR

9. Alat Uji SEM

Alat uji SEM digunakan untuk menganalisa morfologi dan juga ukuran partikel dari hasil penelitian. Alat uji SEM yang digunakan pada penelitian ini milik Departemen Teknik Material FTI-ITS. **Gambar 3.16** menunjukkan alat uji SEM yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.16 Mesin Uji SEM



10. Alat Uji Kuat Tekan

Alat uji kuat tekan digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan komposit beton hasil penelitian. Alat uji kuat tekan yang digunakan pada penelitian ini milik Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV-ITS. **Gambar 3.17** menunjukkan alat uji kuat tekan yang digunakan pada penelitian ini:



Gambar 3.17 Mesin Uji Kuat Tekan

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah penurunan komposisi agregat kasar Limbah plastik LDPE/ PET/ Styrofoam dan kenaikan agregat pasir dengan perubahan komposisi semen. **Tabel 3.1** menjelaskan komposisi limbah plastik LDPE, PET, dan Styrofoam:

Tabel 3.1 Komposisi Limbah Plastik Penyusun Agregat
Limbah Plastik

LDPE (%)	PET (%)	Styrofoam(phr)
70	30	10

Tabel 3.2 menjelaskan variasi komposisi komposit beton binder semen dengan agregat pasir dan limbah plastik:



Tabel 3.2 Variabel Penelitian Komposit

No	Semen (%v)	Pasir (%v)	Agregat Limbah Plastik (%v)
1	25	0	75
2	15	20	65
3	20	20	60
4	25	20	55
5	15	30	55
6	20	30	50
7	25	30	45
8	15	40	45
9	20	40	40
10	25	40	35
11	25	75	0

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Persiapan bahan dilakukan sebelum pelaksanaan pengujian. Persiapan bahan sangat penting untuk dilakukan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan dapat mempengaruhi analisa data dan pembahasan.

3.4.1.1 Pengolahan Sampah Plastik LDPE, PET, dan Styrofoam

1. Sampah plastik yang LDPE, PET dan styrofoam dicuci sampah bersih untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang menempel pada permukaannya.



2. Sampah plastik LDPE, PET dan styrofoam dijemur di bawah sinar matahari sampai kering untuk menghilangkan kandungan air.
3. Melakukan *mechanical crushing* dengan mesin pencacah plastik untuk mendapatkan ukuran LDPE dan PET yang kecil sehingga mudah untuk dilelehkan.
4. Untuk sampah Styrofoam, ukuran Styrofoam dikurangi secara manual untuk mendapatkan ukuran Styrofoam yang kecil sehingga mudah untuk dilelehkan.

3.4.1.2 Persiapan pasir

1. Pasir dijemur di bawah sinar matahari selama satu hari untuk menghilangkan kandungan air yang ada di pasir.
2. Setelah dilakukan penjemuran, pasir diayak menggunakan ayakan untuk mendapatkan ukuran pasir yang homogen.

3.4.1.3 Pembuatan Agregat Limbah Plastik

1. Pembuatan agregat dilakukan dengan menimbang berat dari plastik (LDPE, PET, dan styrofoam) dengan timbangan digital sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
2. Plastik yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam wajan untuk dipanaskan menggunakan panas dari kompor hingga menjadi fasa liquid.
3. Pengadukan campuran plastik menggunakan spatula sampai seluruh campuran tercampur secara merata.
4. Setelah semua tercampur secara merata, campuran plastik yang telah meleleh dituang ke wadah.
5. Agregat limbah plastik yang telah dicetak kemudian didiamkan hingga semua bagian menjadi solid.
6. Agregat limbah plastik dikeluarkan dari wadah.
7. Agregat limbah plastik dipotong secara manual menggunakan gergaji untuk mendapatkan ukuran agregat kasar sesuai standar.



3.4.1.4 Pembuatan Komposit Beton

1. Pembuatan spesimen komposit beton dilakukan dengan menimbang berat dari semen, pasir dan agregat limbah plastik sesuai dengan komposisi yang diinginkan.
2. Semen, pasir, dan agregat limbah plastik yang telah ditimbang dimasukkan kedalam ember untuk dilakukan proses pengadukan.
3. Proses pengadukan menggunakan sendok semen dengan menambahkan air sedikit demi sedikit hingga campuran semen, pasir dan agregat limbah plastik tercampur secara merata.
4. Semen, pasir, dan agregat limbah plastik yang sudah tercampur secara merata dituang kedalam cetakan.
5. Komposit beton yang telah dicetak didinginkan hingga menjadi solid.
6. Spesimen dikeluarkan dari cetakan.

3.4.1.5 Perawatan Komposit Beton

1. Perawatan komposit beton dilakukan dengan merendam spesimen didalam air selama 14 hari sebelum dilakukan pengujian.
2. Setelah 14 hari, spesimen dikeluarkan dari dalam wadah berisi air untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

3.4.2 Proses Pengujian

3.4.2.1 Pengujian Densitas

Densitas rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki densitas lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda yang bermassa sama yang memiliki densitas yang lebih rendah. Untuk pengukuran densitas menggunakan metode Archimedes mengacu pada standard ASTM C 134-95 dalam Murdock (1991) dan dihitung dengan persamaan:

$$\rho_c = \frac{ms}{(mg - mk)} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:



ρ_c = densitas (gr/cm³)
 m_s = massa sampel kering (gr)
 m_g = massa sampel digantung dalam air (gr)
 m_k = massa kawat penggantung (gr)
 ρ_{air} = Densitas air = 1 (gr/cm³)

Dalam proses pengujiannya spesimen ditimbang terlebih dahulu. Kemudian spesimen dimasukkan ke dalam akuades (berada di gelas beker di atas timbangan) dengan posisi digantung dengan benang agar spesimen tidak menyentuh dasar gelas. Setelah didapatkan massa spesimen yang menggantung maka dapat mengetahui volume spesimen yang ada dengan cara membaginya dengan massa jenis dari akuades. Setelah semuanya diketahui maka nilai densitas dapat dihitung menggunakan persamaan diatas. Akan tetapi nilai massa kawat penggantung dapat diabaikan karena nilainya yang terlalu kecil.

3.4.2.2 Pengujian *Water Absorbability*

Pengujian angka penyerapan air digunakan untuk menghitung perubahan berat dari suatu agregat akibat air yang menyerap ke dalam pori di antara partikel pokok dibandingkan dengan pada saat kondisi kering. Penyerapan akan diperoleh setelah merendam spesimen yang kering ke dalam air selama 24 jam. Setelah itu berat basah spesimen ditimbang. Setelah menimbang berat basah, spesimen lalu dikeringkan didalam oven selama 24 jam. Setelah itu spesimen ditimbang lagi untuk mendapatkan berat keringnya. Standar yang digunakan adalah ASTM C642. Perhitungan persentase penyerapan air adalah sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{BS-BK}{BK} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

BS = berat basah (gram)

BK = berat kering (gram)



3.4.2.3 Pengujian SEM

Scanning Electron Microscope adalah jenis mikroskop elektron yang memanfaatkan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola raster scan sehingga dapat menampilkan gambar morfologi sampel. Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Pengujian SEM dilakukan menggunakan alat uji SEM milik Departemen Teknik Material ITS. Standar yang digunakan adalah ASTM E986.

3.4.2.4 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada. Gugus fungsi tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi serta untuk mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai. Spesimen yang digunakan untuk pengujian FTIR berupa bagian kecil dari material yang dibuat. Pengujian FTIR dilakukan menggunakan alat uji FTIR milik Departemen Teknik Material ITS. Standar pengujian FTIR adalah ASTM E1252.

3.4.2.5 Pengujian *Mass Loss*

Pengujian *mass loss* dilakukan untuk mengetahui pengurangan massa komposit yang terjadi ketika komposit direndam dalam air laut dan dengan arus buatan. Pengujian ini dilakukan dalam skala laboratorium dan mengacu pada ASTM D870. Untuk mengetahui persentase *mass loss* komposit dilakukan dengan perhitungan:

$$mass\ loss = \frac{M_o - M_i}{M_i} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan:

Mo: Massa Awal (gram)

Mi: Massa Akhir (gram)



Pengujian *Mass Loss* dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggantung spesimen uji didalam wadah berukuran 37cm x 23cm x 10cm dan memberikan arus buatan melalui 3 buah pompa air dengan debit air masing-masing 0.39 l/dtk. Air yang digunakan dalam pengujian ini adalah air laut pantai Kenjeran Surabaya.

3.4.2.6 Pengujian Kuat tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan kuat tekan dari material komposit. Dalam pengujian ini standard yang digunakan adalah SNI 03-0691-1996. Untuk mengetahui nilai kekuatan kuat tekan dari benda uji tersebut dilakukan dengan perhitungan:

$$\text{Kuat tekan} = \frac{P}{A}$$

..... (3.4)

Keterangan:

P = beban tekan (N)

A = luas bidang tekan (mm²)

Proses uji kuat tekan dan didapatkan data berat tekan dalam satuan (Ton) yang kemudian di konversi menjadi satuan Newton. Setelah didapatkan data beban tekan dalam Newton, kemudian data yang ada dimasukkan ke dalam persamaan di atas untuk menghitung kuat tekan dari masing-masing spesimen. Spesimen uji kuat tekan memiliki dimensi ukuran 5x5x5 cm.

3.5 Rancangan Penelitian

Tabel 3.3 menunjukkan rancangan penelitian yang akan dilakukan:



Tabel 3.3 Rancangan Pelaksanaan Penelitian

No	Binder	Agregat		Pengujian					
	Semen (% v)	Pasir (% v)	Agregat Limbah Plastik (% v)	Massa Jenis	Water Absorb	SEM	FTIR	Mass Loss	Kuat Tekan
1	25	0	75	V	V	V	V	V	V
2	15	20	65	V	V	-	-	V	V
3	20	20	60	V	V	-	-	V	V
4	25	20	55	V	V	-	-	V	V
5	15	30	55	V	V	-	-	V	V
6	20	30	50	V	V	-	-	V	V
7	25	30	45	V	V	V	V	V	V
8	15	40	45	V	V	-	-	V	V
9	20	40	40	V	V	-	-	V	V
10	25	40	35	V	V	-	-	V	V
11	25	75	0	V	V	V	V	V	V

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan cara menghitung massa dan volume dari masing-masing spesimen untuk mengetahui massa jenis dari masing-masing spesimen.

Tabel 4.1 menunjukkan hasil uji densitas keseluruhan spesimen:

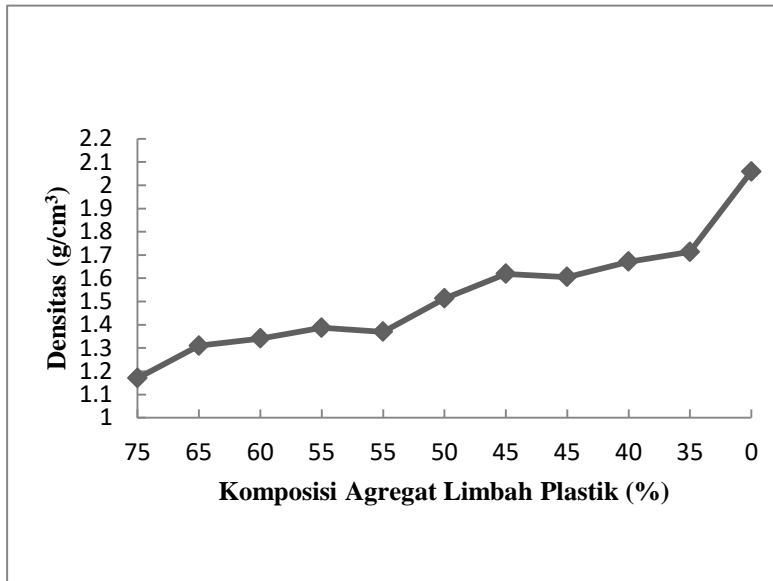
Tabel 4.1 Hasil Uji Densitas

Spesimen	Semen (% v)	Pasir (% v)	Agregat Limbah Plastik (% v)	Massa Jenis (g/cm ³)
1	25	0	75	1.17
2	15	20	65	1.31
3	20	20	60	1.34
4	25	20	55	1.39
5	15	30	55	1.37
6	20	30	50	1.51
7	25	30	45	1.62
8	15	40	45	1.61
9	20	40	40	1.67
10	25	40	35	1.71
11	25	75	0	2.06

Dari hasil uji densitas pada **Tabel 4.1** ini didapatkan bahwa massa jenis tertinggi adalah spesimen uji 11 dengan komposisi penyusun 25% semen, 75% pasir dengan tanpa adanya agregat plastik dimana pada spesimen 11 ini merupakan komposisi pasir tertinggi jika dibandingkan dengan spesimen lainnya. Sedangkan hasil pengujian terkecil adalah pada spesimen uji 1 yang memiliki komposisi 25% semen dan 75% agregat limbah plastik dengan tanpa adanya pasir. Pada spesimen uji nomor 1 ini merupakan komposisi tertinggi agregat limbah plastik sebesar 75 %.



Gambar 4.1 menunjukkan grafik hasil uji densitas terhadap pengurangan komposisi agregat limbah plastik:



Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji Densitas Terhadap Pengurangan Komposisi Agregat Limbah Plastik

Dari **Gambar 4.1**, dapat diketahui tren hasil uji densitas mengalami peningkatan. Dengan adanya penurunan komposisi agregat limbah plastik dan kenaikan komposisi pasir dan semen maka nilai massa jenis mengalami peningkatan. Hal ini karena nilai massa jenis dari agregat limbah plastik yang kecil yaitu 0.89 g/cm^3 jika dibandingkan dengan massa jenis semen yaitu 3.15 g/cm^3 dan pasir 2.4 g/cm^3 sehingga nilai massa jenis komposit beton meningkat. Selain itu juga agregat limbah plastik yang dapat mengalami *gap-gradation* akibat setelah pencampuran limbah plastik LDPE, PET, dan Styrofoam dengan proses pelelehan, ukuran agregat limbah plastik didapatkan secara manual melalui penumbukan dan pemotongan dengan gerinda/



gergaji sehingga ukuran agregat limbah plastik tidak homogen dan potensi terjadinya porositas semakin besar pada beton (Rommel, 2013).

Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji densitas pada spesimen 2,5, dan 8 yang memiliki komposisi semen yang sama yaitu 15%:

Tabel 4.2 Hasil Uji Densitas komposisi semen 15%

Spesimen	Semen (% v)	Pasir (% v)	Agregat Limbah Plastik (% v)	Massa Jenis (g/cm^3)
2	15	20	65	1.31
5	15	30	55	1.37
8	15	40	45	1.61

Pada **Tabel 4.2**, dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai massa jenis spesimen. Massa jenis tertinggi terdapat pada spesimen 8 dengan nilai sebesar 1.61 g/cm^3 . Ini membuktikan bahwa selain penurunan komposisi agregat limbah plastik, penambahan komposisi pasir juga mempengaruhi densitas beton. Penambahan jumlah komposisi pasir menyebabkan kenaikan nilai massa jenis. Ini dikarenakan ukuran pasir yang berupa butir kecil yang menjadi agregat halus dari beton. Sehingga pasir mengisi rongga beton dan memperkecil rongga sehingga juga dapat menurunkan porositas pada beton (Ginting, 2014).

Tabel 4.3 menunjukkan hasil uji densitas komposisi pasir 30%:

Tabel 4.3 Hasil Uji Densitas Komposisi Pasir 30%

Spesimen	Semen (% v)	Pasir (% v)	Agregat Limbah Plastik (% v)	Massa Jenis (g/cm^3)
5	15	30	55	1.37
6	20	30	50	1.51
7	25	30	45	1.62

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa penambahan komposisi semen pada beton juga mempengaruhi nilai massa jenis komposit



beton. Ini dibuktikan dengan semakin naiknya nilai massa jenis spesimen dengan kenaikan komposisi semen. Massa jenis semen merupakan yang tertinggi yaitu 3.15 g/cm^3 jika dibandingkan dengan pasir dan agregat limbah plastik. Ini mengakibatkan dengan semakin banyak semen yang digunakan maka akan meningkatkan massa jenis komposit beton itu sendiri (Sutrisno, 2013).

Dari hasil uji densitas komposit, nilai densitas spesimen uji 1 sampai 10 memenuhi nilai berat jenis beton ringan yang memiliki rentang berat jenis $1000\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$, sedangkan untuk spesimen uji 11 memenuhi kriteria beton normal yang memiliki rentang berat jenis $2300\text{-}2500 \text{ kg/m}^3$ (Tjokrodinuljo, 2003).

4.2 Hasil Uji *Water Absorbability*

Pengujian *water absorbability* dilakukan untuk mengetahui tingkat penyerapan air dari spesimen. Uji *water absorbability* dilakukan dengan cara membandingkan selisih berat basah dan berat kering spesimen. **Tabel 4.4** memperlihatkan hasil uji *water absorbability* yang telah dilakukan:

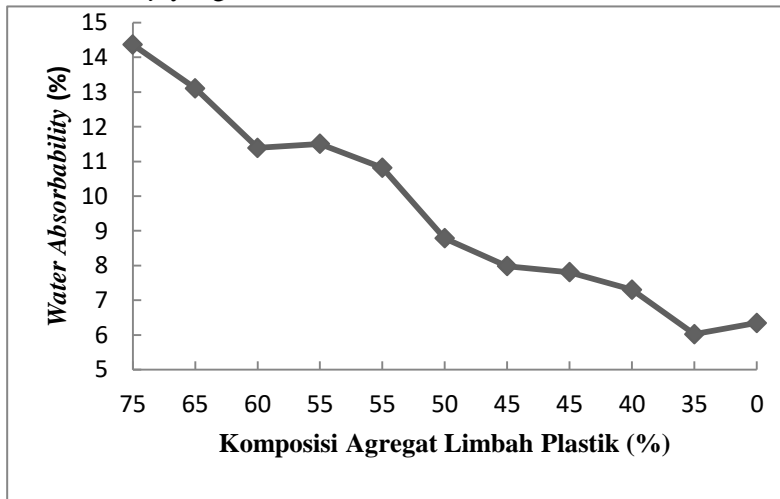
Tabel 4.4 Hasil Uji *Water Absorbability*

Spesimen	Semen (% v)	Pasir (% v)	Agregat Limbah Plastik (% v)	Absorbability (%)
1	25	0	75	14.37
2	15	20	65	13.11
3	20	20	60	11.39
4	25	20	55	11.50
5	15	30	55	10.82
6	20	30	50	8.79
7	25	30	45	7.98
8	15	40	45	7.81
9	20	40	40	7.30
10	25	40	35	6.02
11	25	75	0	6.35



Dari hasil pengujian *water absorbability* yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.4**, persentase *water absorbability* tertinggi adalah pada spesimen uji nomor 1 yaitu sebesar 14,37%. Komposisi spesimen uji nomor 1 adalah 25% semen dan 75% agregat limbah plastik. Komposisi nomor 1 ini merupakan komposisi agregat limbah plastik tertinggi. Sedangkan persentase *water absorbability* terendah adalah pada spesimen nomor 10 yang memiliki komposisi 25% semen, 40% pasir dan 35% agregat limbah plastik.

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hasil uji *water absorbability* yang telah dilakukan:



Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji *Water Absorbability* Terhadap Pengurangan Komposisi Agregat Limbah Plastik

Hasil pengujian *water absorbability* menunjukkan pengaruh agregat limbah plastik terhadap tingkat penyerapan air dari komposit beton. Dari hasil pengujian, terjadi penurunan persentase nilai penyerapan air dengan meningkatnya komposisi agregat limbah plastik. Ini dikarenakan semakin bertambahnya kadar plastik maka kepadatan komposit beton juga akan bertambah



sehingga daya serap air beton berkurang. Selain itu juga plastik yang bersifat tidak tembus air menyebabkan daya serap air semakin berkurang (Hambali, 2013). **Tabel 4.5** menunjukkan hasil uji *water absorbability* komposisi semen 15%:

Tabel 4.5 Hasil Uji *Water Absorbability* Komposisi Semen 15%

Spesimen	Semen (% v)	Pasir (% v)	Agregat Limbah Plastik (% v)	<i>Water Absorbability</i> (%)
2	15	20	65	13.11
5	15	30	55	10.82
8	15	40	45	7.81

Dari **Tabel 4.5**, pengaruh pasir terhadap nilai daya serap air adalah tingginya nilai daya serap air disebabkan oleh kandungan SiO_2 pada pasir yang tidak proporsional (terlalu banyak atau terlalu sedikit). Jika komposisi SiO_2 berlebihan maka akan bereaksi dengan CaO yang terdapat pada semen dan dengan penambahan air membentuk CaOH_2 . Kalsium Hidroksida menyebabkan kepadatan komposit beton berkurang akibat terbentuknya rongga-rongga udara. Dan ketika dilakukan pengujian maka air akan mengisi rongga udara yang ada sehingga nilai daya serap air komposit beton tinggi yang tentunya tidak baik untuk beton. Sebaliknya jika kandungan pasir terlalu sedikit maka pengikatan CaO menjadi tidak optimal (Hambali, 2013).

Tabel 4.6 menunjukkan hasil uji *water absorbability* komposisi pasir 30%:

Tabel 4.6 Hasil Uji *Water Absorbability* Komposisi Pasir 30%

Spesimen	Semen (% v)	Pasir (% v)	Agregat Limbah Plastik (% v)	<i>Water Absorbability</i> (%)
5	15	30	55	10.82
6	20	30	50	8.79
7	25	30	45	7.98

Dari **Tabel 4.6**, dapat diketahui bahwa dengan penambahan semen dan pengurangan komposisi agregat limbah plastik



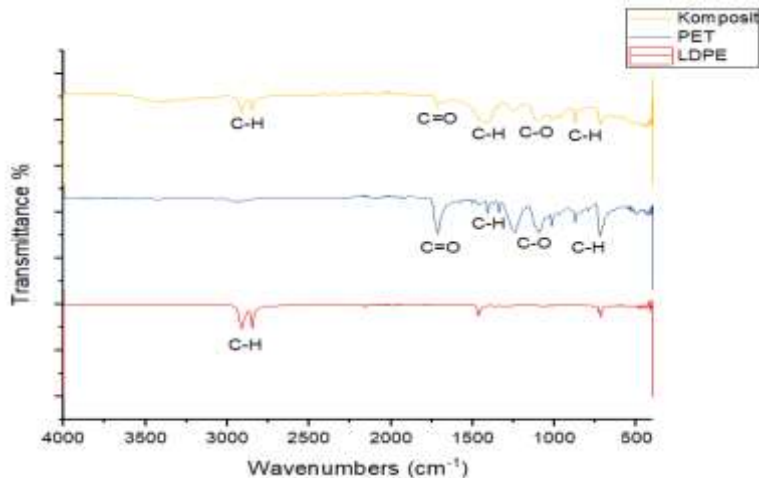
menyebabkan nilai *water absorbability* mengalami penurunan. Pada penambahan semen sebesar 15% hingga 25% nilai *water absorbability* mengalami penurunan.

Dari nilai *water absorbability* dapat dilihat pada spesimen 2 hingga spesimen 6 nilai *water absorbability* >10% dimana penyerapan air maksimal dari beton mutu D menurut SNI 03-0691-1996 adalah 10%. Sedangkan spesimen 7 hingga 10 memiliki nilai *water absorbability* < 8% yang merupakan komposisi optimal untuk beton mutu C yang memiliki penyerapan air maksimal 8%.

4.3 Hasil Uji FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*)

Pengujian FTIR dilakukan untuk menemukan gugus fungsi dari komposit dan membandingkannya dengan plastik penyusun komposit yaitu *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET). Pengujian FTIR dilakukan dengan mesin FTIR milik Departemen Teknik Material FTI ITS.

Gambar 4.3 adalah hasil pengujian FTIR komposit:



Gambar 4.3 Hasil Uji FTIR

Gambar 4.3 menunjukkan uji FTIR dilakukan pada 3 spesimen yaitu komposit beton dengan komposisi 25% semen,



30% pasir dan 45% agregat limbah plastik, lalu *low density polyethylene* (LDPE) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET). Hasil uji FTIR menunjukkan pada komposit beton menunjukkan hasil FTIR yang identik dengan hasil uji FTIR pada LDPE dan PET. **Tabel 4.7** menunjukkan daerah serapan komposit beton dari uji FTIR yang telah dilakukan.

Tabel 4.7 Daerah Serapan Komposit dengan Komposisi 25% Semen, 30% Pasir, dan 45% Agregat Limbah Plastik

Wavenumber (cm^{-1})	Ikatan	Gugus
2915	C-H	Alkana
2847	C-H	Alkana
1715	C=O	Karbonil
1410	C-H	Alkana
1342	C-H	Alkana
1249	C-O	Ester
1098	C-O	Ester
1017	C-O	Ester
873	C-H	Aromatik
720	C-H	Alkana

Pada **Gambar 4.3** warna kuning menunjukkan hasil uji FTIR komposit variasi komposisi 7 dengan komposisi 25% Semen, 30% Pasir, dan 45% Agregat limbah plastik yang terdiri dari LDPE, PET, dan Styrofoam. Analisa sampel dilakukan pada wavenumber $4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$. Hasil yang didapat adalah terdapat ikatan alkana C-H dari LDPE pada puncak gelombang tertinggi yaitu 2915 cm^{-1} , 2847 cm^{-1} , dan 720 cm^{-1} . Peak yang muncul merupakan peak dengan intensitas kuat dan sesuai dengan peak yang terbaca pada daerah serapan LDPE (George, 2004).

Terdapat juga ikatan-ikatan dari PET dengan ikatan karbonil C=O pada gelombang 1715 cm^{-1} . Ikatan alkana C-H didapatkan pada gelombang 1410 cm^{-1} dan 1342 cm^{-1} . Ikatan ester C-O didapatkan pada gelombang 1249 cm^{-1} , 1098 cm^{-1} , dan 1017 cm^{-1} . Dan ikatan aromatik C-H didapatkan pada gelombang



873 cm^{-1} . Peak yang muncul sesuai dengan peak yang terbaca pada daerah serapan PET.

Gambar 4.3 warna merah menunjukkan hasil uji FTIR LDPE. Analisa dilakukan pada *wavenumber* 4000-500 cm^{-1} . Daerah serapan LDPE ditunjukkan pada **Tabel 4.8**:

Tabel 4.8 Daerah Serapan LDPE

Wavenumber (cm^{-1})	Ikatan	Gugus
2915	C-H	Alkana
2847	C-H	Alkana
720	C-H	Alkana

Dari hasil analisa didapatkan ikatan alkana C-H dari LDPE pada gelombang 2915 cm^{-1} , 2847 cm^{-1} , dan 719 cm^{-1} dengan intensitas yang kuat. Daerah frekuensi C-H alkana adalah pada range 2940-2840 cm^{-1} dengan intensitas kuat dan 725-720 cm^{-1} untuk alkana dengan cabang yang banyak (George, 2004).

Gambar 4.3 warna biru menunjukkan hasil uji FTIR PET. Analisa sampel dilakukan pada *wavenumber* 4000-500 cm^{-1} . Daerah serapan PET ditunjukkan pada **Tabel 4.9**:

Tabel 4.9 Daerah Serapan PET

Wavenumber (cm^{-1})	Ikatan	Gugus
1715	C=O	Karbonil
1410	C-H	Alkana
1342	C-H	Alkana
1249	C-O	Ester
1098	C-O	Ester
1017	C-O	Ester
873	C-H	Aromatik

Hasil analisa menunjukkan ikatan karbonil C=O pada gelombang 1715 cm^{-1} dengan range gelombang 1690-1760 cm^{-1} memiliki intensitas kuat. Ikatan alkana C-H terjadi pada gelombang 1410 cm^{-1} dan 1342 cm^{-1} dengan range gelombang 1340- 1470 cm^{-1} memiliki intensitas kuat. Ikatan ester C-O terjadi pada gelombang 1249 cm^{-1} , 1098 cm^{-1} , dan 1017 cm^{-1} dengan range gelombang 1015- 1300 cm^{-1} memiliki intensitas kuat. Ikatan aromatik C-H terjadi pada gelombang 873 cm^{-1} dengan

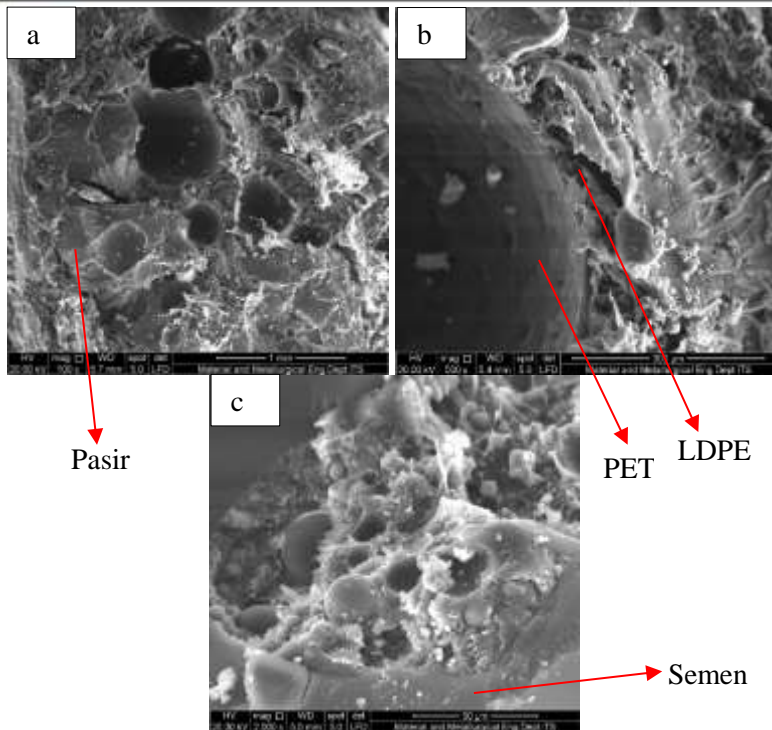


range gelombang $690\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ memiliki intensitas kuat (Skoog, 1998). Hasil dari pengujian FTIR tidak ditemukan adanya peak baru yang berarti tidak ada ikatan kimia baru yang terbentuk pada komposit beton dengan agregat limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *Polyethylene Terephthalate* (PET).

4.4 Hasil Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui *interface* antara binder semen dengan filler dan untuk mengetahui persebaran filler pada komposit. selain itu juga pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan komposit. Pengujian SEM dilakukan menggunakan mesin SEM milik Departemen Teknik Material FTI ITS.

Gambar 4.4 menunjukkan hasil uji SEM komposisi 25% semen, 30% pasir dan 45% agregat limbah plastik:



Gambar 4.4 Hasil SEM Variasi Komposisi 25% Semen/ 30% Pasir/ 45% Agregat Limbah Plastik dengan perbesaran (a) 100x (b) 500x (c) 2000x

Pada **Gambar 4.4** (a) adalah hasil SEM variasi komposisi 25% semen, 30% pasir dan 45% agregat limbah plastik dengan perbesaran 100x. Dari hasil SEM perbesaran 100x terlihat agregat limbah plastik LDPE/PET/Styrofoam. Terlihat bahwa adanya *spherical ball* dengan permukaan yang halus disekitarnya menunjukkan PET dan LDPE. Morfologi PET membentuk *spherical ball*, sedangkan permukaan disekitarnya yang halus menunjukkan LDPE. Diameter *spherical ball* akan meningkat seiring dengan bertambahnya komposisi PET (Neogi et al, 2003). Peningkatan komposisi PET menyebabkan permukaan

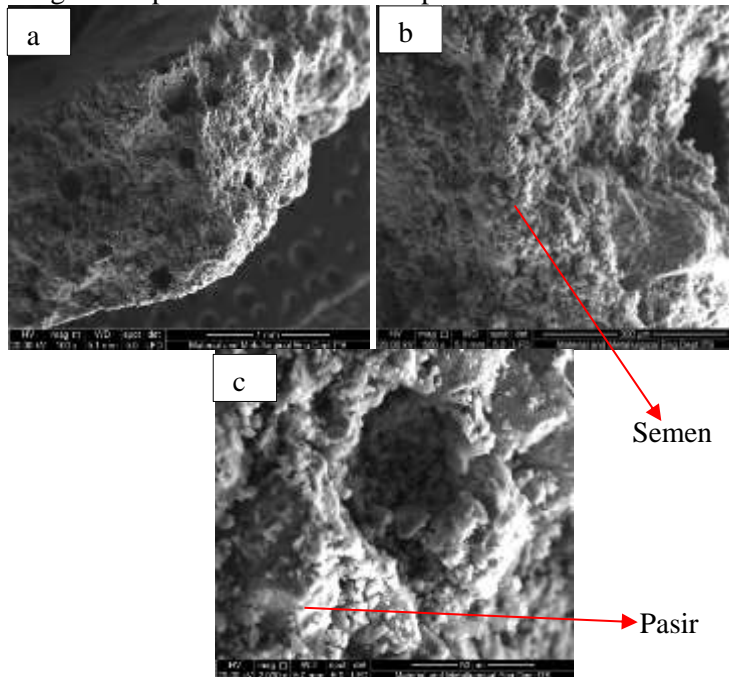


semakin kasar karena semakin banyaknya *spherical ball*, dimana jika komposisi PET sedikit dengan jumlah LDPE lebih banyak maka permukaan akan lebih halus. Semakin banyak komposisi PET maka LDPE akan terdispersi dengan distribusi diameter yang semakin lebar. Pada bagian yang terdispersi ini akan terbentuk void yang menunjukkan bahwa LDPE dan PET tidak melekat satu sama lain (Yong Lei et al, 2008). Tidak melekatnya LDPE dan PET ditunjukkan pada **Gambar 4.4** (b) yang merupakan perbesaran 500x menunjukkan *interface* antara *spherical ball* PET dengan LDPE.

Pada **Gambar 4.4** (a) juga terlihat morfologi pasir yang diselimuti oleh binder semen. Dari morfologi permukaan spesimen, terlihat bahwa persebaran pasir merata yang dibuktikan dengan morfologi permukaan spesimen yang kasar. Bentuk butiran pasir menunjukkan bentuk pipih dan juga ada yang tidak beraturan. Penyebaran filler pasir yang merata akan meningkatkan sifat mekanik material komposit. Sedangkan bentuk void dan *spherical ball* mempengaruhi tingkat penyerapan air.

Gambar 4.4 (c) merupakan hasil SEM dengan perbesaran 2000x. Yang berwarna abu-abu adalah *binder* semen. Sedangkan yang berwarna terang adalah matriks LDPE dan *spherical ball*, adalah PET. Pada perbesaran ini terlihat jelas *interface* yang membatasi antara semen dengan agregat limbah plastik. Dimana LDPE dan PET sendiri juga terdapat *interface* yang menandakan kedua jenis plastik ini tidak menyatu. Mekanisme terjadinya *interface* pada LDPE dan PET disebabkan karena sifat LDPE yang non-polar dan PET yang polar. Sehingga karena polaritas yang berbeda dari LDPE dan PET menyebabkan LDPE dan PET tidak bisa menyatu. Mekanisme terjadinya *interface* pada LDPE dan PET disebabkan karena adanya tegangan permukaan antara LDPE dan PET yang menyebabkan LDPE dan PET tidak saling terlarut saat proses pelelehan. Molekul-molekul non polar tidak dapat menyeimbangkan gaya molekul pada permukaan polar sehingga terdapat batas (*interface*) antara LDPE dan PET.

Gambar 4.5 menunjukkan hasil uji SEM spesimen uji 11 dengan komposisi semen 25% dan pasir 75%:



Gambar 4.5 Hasil SEM Variasi 25% Semen dan 75% Pasir dengan Perbesaran (a) 100x (b) 500x (c) 2000x

Gambar 4.5 menunjukkan hasil SEM pada variasi komposisi 25% semen dan 75% pasir tanpa adanya agregat limbah plastik. Jika dibandingkan dengan hasil SEM variasi komposisi 25% semen, 30% pasir dan 45% agregat limbah plastik pada **Gambar 4.4**, maka pada hasil SEM semen dan pasir terdapat lebih banyak *voids* yang dapat dilihat pada **Gambar 4.5** (a) yang merupakan perbesaran 100x. Pada perbesaran hasil SEM seperti pada **Gambar 4.5** (b) dan (c), tekstur permukaan hasil SEM semen dan pasir menunjukkan tekstur yang kasar dan terdapat bentuk pipih yang merupakan pasir yang diselimuti oleh



semen. Jika dibandingkan dengan hasil SEM pada **Gambar 4.4**, pada hasil SEM **Gambar 4.5** tidak terdapat *spherical ball* yang diberikan oleh PET. Tekstur permukaan diberikan oleh *filler* pada komposit dalam hal ini adalah pasir dan agregat limbah plastik.

4.5 Hasil Uji *Mass loss*

Pengujian *Mass loss* dilakukan untuk mengetahui perilaku komposit dalam lingkungan air laut yang berhubungan dengan keausan komposit. Pengujian *mass loss* dilakukan dalam skala laboratorium dengan merendam spesimen uji didalam air laut yang diambil dari pantai Kenjeran, Surabaya dan dengan arus buatan yang dibuat menggunakan pompa air dan diuji selama 24 jam yang dilakukan di laboratorium Inovasi Material Departemen Teknik Material FTI ITS. **Tabel 4.10** menunjukkan hasil pengujian *mass loss*:

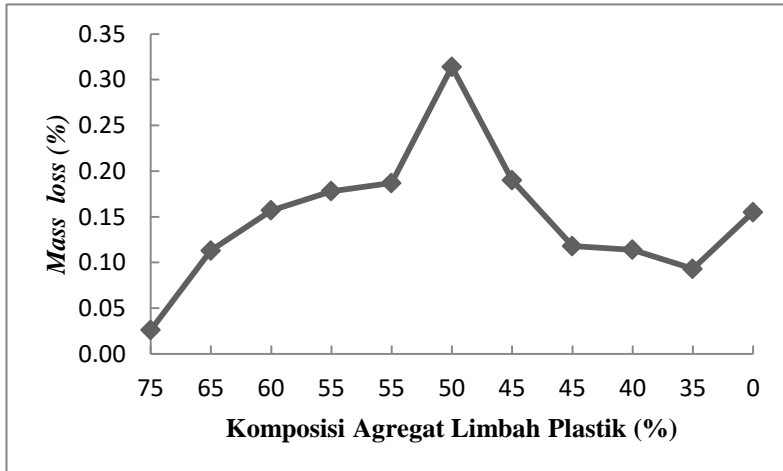
Tabel 4.10 Hasil Uji *Mass Loss*

Spesimen	Semen (%v)	Pasir (%v)	Agregat Limbah Plastik (%v)	<i>Mass Loss</i> (%)
1	25	0	75	0.03
2	15	20	65	0.11
3	20	20	60	0.16
4	25	20	55	0.18
5	15	30	55	0.19
6	20	30	50	0.31
7	25	30	45	0.19
8	15	40	45	0.12
9	20	40	40	0.11
10	25	40	35	0.09
11	25	75	0	0.16

Hasil pengujian *mass loss* menunjukkan pengurangan massa komposit beton terhadap air laut dengan arus buatan. **Tabel 4.10** menunjukkan hasil uji *mass loss* yang relatif kecil tidak melebihi 0.5%. **Gambar 4.6** menunjukkan grafik hasil uji



Mass Loss terhadap pengurangan komposisi agregat limbah plastik.



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian *Mass Loss* Terhadap Pengurangan Komposisi Agregat Limbah Plastik

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengujian *mass loss* berupa grafik. Nilai persentase *mass loss* mengalami kenaikan dengan bertambahnya komposisi pasir hingga komposisi 30% pasir. Setelah itu kenaikan pasir hingga 40% menurunkan persentase *mass loss* komposit dan kembali naik ketika komposisi pasir 75%. Persentase *mass loss* mengalami kenaikan yang signifikan pada spesimen nomor 6 dengan komposisi 20% semen, 30% pasir dan 50% agregat limbah plastik yaitu sebesar 0.31%. Ini terjadi karena adanya pengaruh air laut terhadap beton yang menyebabkan adanya reaksi kimia antara beton dengan air laut.

Pengaruh air laut terhadap beton adalah menurunkan mutu beton. Adanya kandungan sulfat (umumnya serangan disebabkan oleh Magnesium Sulfat) pada air laut akan menurunkan mutu beton. Ditambah dengan adanya klorida pada air laut akan



menghambat perkembangan beton. Beton akan berwarna lebih putih dan beton akan mengalami ekspansi sehingga menyebabkan *spalling* (keropos) dan retak akibat perekatan beton yang terhambat serta akan terbentuk lumpur lunak pada beton. Sehingga sifat mekanik beton juga akan mengalami penurunan dan menurunkan mutu beton.

Serangan Magnesium Sulfat (MgSO_4) sangat berbahaya karena membentuk Magnesium hidroksida yang bereaksi dengan dengan gel *tobermorite* (CSH). Walaupun awalnya akan membentuk senyawa gipsium yang memberikan keuntungan bagi beton, namun juga akan membentuk senyawa Mg_4SH_8 yang bersifat tidak rekat sehingga semen tidak mampu merekat dengan agregat (Akinsola et al, 2012). Sehingga pengikatan antara semen sebagai *binder* dengan pasir dan agregat limbah plastik sebagai *filler* berkurang dan menyebabkan pengurangan massa yang signifikan pada komposit dengan komposisi 20% semen, 30% pasir dan 50% agregat limbah plastik ketika terkena arus air laut pada pengujian *mass loss* ini.

Pengaruh agregat limbah plastik juga dapat dilihat dari hasil uji *mass loss* yang telah dilakukan. Penurunan komposisi agregat limbah plastik hingga 50% memperlihatkan kenaikan persentase *mass loss* komposit. Setelah itu penurunan komposisi agregat limbah plastik hingga 35% memperlihatkan penurunan persentase *mass loss* komposit. Ini disebabkan plastik yang bersifat tidak tembus air (Hambali, 2013). Sehingga ketika penurunan komposisi limbah plastik, air laut semakin mudah bereaksi dengan beton sehingga terjadi kenaikan persentase *mass loss* komposit. **Tabel 4.11** menunjukkan hasil uji *Mass Loss* komposisi semen 15%:

Tabel 4.11 Hasil Uji *Mass loss* Komposisi Semen 15%

Spesimen	Semen (% v)	Pasir (% v)	Agregat Limbah Plastik (% v)	<i>Mass loss</i> (%)
2	15	20	65	0.11
5	15	30	55	0.19
8	15	40	45	0.12



Tabel 4.11 menunjukkan bahwa dengan penambahan komposisi pasir dan pengurangan agregat limbah plastik menyebabkan kecenderungan kenaikan persentase *Mass Loss*. Ini disebabkan oleh partikel pasir yang tidak berikatan secara optimal dengan semen dan hanya mengisi rongga kosong sehingga ketika terkena arus air akan mengalami pengurangan massa. **Tabel 4.12** menunjukkan hasil uji *Mass Loss* komposisi pasir 30%:

Tabel 4.12 Hasil Uji *Mass Loss* Komposisi Pasir 30%

Spesimen	Semen (%v)	Pasir (%v)	Agregat Limbah Plastik (%v)	<i>Mass loss</i> (%)
5	15	30	55	0.19
6	20	30	50	0.31
7	25	30	45	0.19

Tabel 4.12 menunjukkan hasil uji *mass loss* untuk menunjukkan pengaruh komposisi semen. Kecenderungan terjadinya kenaikan persentase *mass loss* seiring dengan kenaikan komposisi semen. Ini disebabkan saat komposisi semen yang terlalu sedikit akan membuat pengikatan CaO yang terdapat pada semen oleh pasir tidak optimal sehingga pasir tidak merekat seluruhnya pada semen dan pasir akan mudah terlepas dari beton. Hal yang sama juga terjadi ketika komposisi semen dinaikan menjadi 20% pengikatan semen terhadap *filler* khususnya pasir tidak optimal sehingga terjadi kenaikan persentase *mass loss* (Hambali, 2013). Selain itu juga faktor reaksi kimia antara semen dan air laut (senyawa $MgSO_4$) menyebabkan terbentuknya senyawa yang bersifat tidak rekat sehingga komposit akan mudah keropos.

4.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tekan dari komposit beton. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah komposit beton berumur 14 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menghitung rasio beban



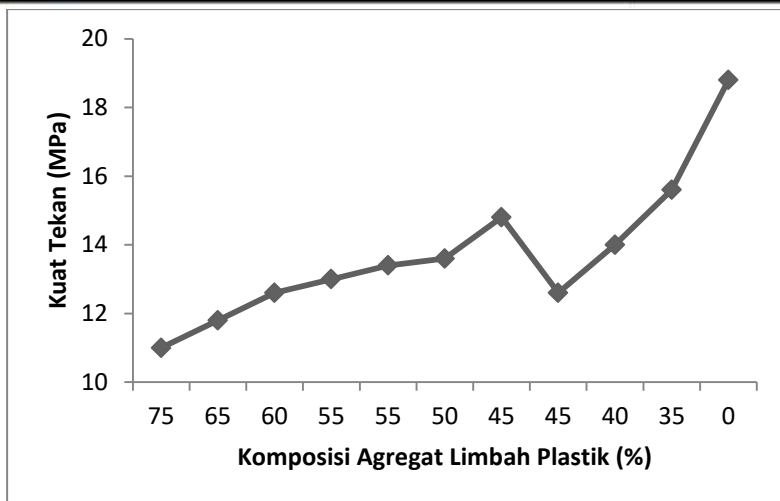
maksimal yang diterima komposit beton dan luas permukaan bidang yang diberi beban. Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan mesin uji kuat tekan dan dilakukan di Departemen Diploma Sipil FV ITS. **Tabel 4.13** menunjukkan hasil uji kuat tekan dari komposit:

Tabel 4.13 Hasil Uji Kuat Tekan

Spesimen	Semen (%v)	Pasir (%v)	Agregat Limbah Plastik (%v)	Kuat Tekan (MPa)
1	25	0	75	11.0
2	15	20	65	11.8
3	20	20	60	12.6
4	25	20	55	13.0
5	15	30	55	13.4
6	20	30	50	13.6
7	25	30	45	14.8
8	15	40	45	12.6
9	20	40	40	14.0
10	25	40	35	15.6
11	25	75	0	18.8

Dari **Tabel 4.13** didapatkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi adalah pada spesimen uji nomor 11 dengan nilai sebesar 18.8 MPa. Komposisi spesimen uji nomor 11 adalah 25% semen dan 75% pasir tanpa adanya agregat limbah plastik. Sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah pada spesimen uji nomor 1 dengan nilai kuat tekan adalah sebesar 11.0 MPa. Komposisi spesimen uji nomor 1 adalah 25% semen dan 75% agregat limbah plastik dan tanpa adanya pasir.

Gambar 4.7 menunjukkan grafik hasil uji kuat tekan terhadap pengurangan komposisi agregat limbah plastik:



Gambar 4.7 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Terhadap Pengurangan Komposisi Agregat Limbah Plastik

Dari **Gambar 4.7**, tren yang terjadi pada pengujian kuat tekan cenderung mengalami kenaikan. Namun terdapat penurunan tren pada komposisi 8 yaitu dengan komposisi semen 15%, 40% pasir dan 45% agregat limbah plastik. Penyebab terjadinya penurunan ini adalah terjadinya retak akibat penyusutan. Retak ini terjadi pada 1-8 jam pertama setelah komposit beton dicetak. Penyusutan terjadi disebabkan oleh hilangnya kadar air dari campuran semen sehingga hidrasi semen tidak terjadi secara maksimal sehingga akan terjadi penyusutan. Pada sisi lain, beton cenderung mengembang ketika dibasahi (peningkatan volume bisa sebanding dengan besarnya penyusutan beton). Sehingga dengan adanya penyusutan pada 8 jam pertama dan peningkatan volume pada proses perawatan komposit beton menyebabkan terjadinya retak penyusutan (Saputra, 2014).

Tabel 4.14 menunjukkan hasil uji kuat tekan komposisi semen 15% untuk mengetahui pengaruh penambahan komposisi pasir terhadap nilai kuat tekan komposit:

**Tabel 4.14** Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi semen 15%

Spesimen	Semen (%v)	Pasir (%v)	Agregat Limbah Plastik (%v)	Kuat Tekan (MPa)
2	15	20	65	11.8
5	15	30	55	13.4
8	15	40	45	12.6

Tabel 4.14 menunjukkan hasil uji kuat tekan dengan komposisi semen 15%. Hasil pengujian kuat tekan komposit beton menunjukkan kecenderungan kenaikan nilai kuat tekan komposit beton. Namun terdapat penurunan kuat tekan komposit beton pada spesimen uji nomor 8 dengan kuat tekan sebesar 12.6 MPa. Komposisi spesimen uji nomor 8 adalah 15% semen, 40% pasir, dan 45% agregat limbah plastik. Ini dapat disebabkan oleh komposisi semen yang hanya 15% dan komposisi pasir 40% sehingga pengikatan yang dilakukan oleh semen tidak optimal. Sementara itu agregat limbah plastik juga tidak dapat mengikat secara alami dengan semen maupun pasir. Sehingga komposisi semen optimal diperlukan untuk mendapatkan pengikatan yang maksimal sehingga akan meningkatkan nilai kuat tekan komposit beton. Ini yang terjadi pada komposisi semen 20% dan 25% dimana kenaikan nilai kuat beton terjadi.

Pasir juga mempengaruhi nilai kuat tekan komposit beton. Peningkatan komposisi pasir menyebabkan nilai kuat tekan komposit beton meningkat. Ini disebabkan pasir yang ukurannya relatif kecil mengisi rongga yang ada pada beton sehingga meningkatkan kepadatan beton dan kuat tekan beton. Selain itu juga pasir memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada agregat limbah plastik sehingga dengan penambahan pasir dan pengurangan komposisi agregat limbah plastik maka nilai kuat tekan komposit beton akan mengalami kenaikan (Ginting, 2014).

Dari hasil pengujian kuat tekan diketahui bahwa penurunan komposisi agregat limbah plastik menyebabkan kenaikan nilai kuat tekan komposit beton. Ini dapat terjadi karena permukaan agregat limbah plastik yang cenderung halus dan licin sehingga ikatan antara partikel penyusul komposit beton kurang



kuat jika dibandingkan dengan beton normal. Selain itu dari segi kekuatan agregat limbah plastik lebih lunak jika dibandingkan dengan agregat kerikil atau batu pecah yang biasa digunakan sebagai agregat kasar dalam pembuatan beton normal (Soebandono dkk, 2013). Sehingga dengan penurunan komposisi agregat limbah plastik maka akan terjadi kenaikan nilai kuat tekan komposit beton.

Pada dasarnya plastik dan pasir tidak bisa melekat dan dibutuhkan senyawa kimia untuk melekatkannya. Semakin besar ukuran dan jumlah agregat plastik pada beton maka akan mengurangi kekuatan beton. Sehingga semakin sedikit komposisi plastik sebagai agregat maka akan terjadi kenaikan nilai kuat tekan beton (Rismayasari, 2012). Pola kegagalan yang terjadi pada komposit beton hasil pengujian kuat tekan berupa retak disekeliling sampel yang dapat disebabkan oleh komposisi agregat limbah plastik dan pasir yang besar sehingga terjadinya pengurangan ikatan pada komposit beton (Taufiq, 2016).

Tabel 4.15 menunjukkan hasil uji kuat tekan komposisi 30% pasir:

Tabel 4.15 Hasil Uji Kuat Tekan Komposisi 30% Pasir

Spesimen	Semen (% v)	Pasir (%)	Agregat Limbah Plastik (% v)	Kuat Tekan (MPa)
5	15	30	55	13.4
6	20	30	50	13.6
7	25	30	45	14.8

Dari **Tabel 4.15**, dapat dilihat bahwa dengan penambahan komposisi semen dan dengan penurunan komposisi agregat limbah plastik menyebabkan kenaikan nilai kuat tekan komposit. Pada komposisi semen 15% memiliki nilai kuat tekan sebesar 13.4 MPa. Lalu terjadi peningkatan nilai kuat tekan menjadi 13.6 MPa dengan komposisi semen 20%. Dan kuat tekan mengalami peningkatan kembali dengan penambahan komposisi pasir menjadi sebesar 25%. Ini disebabkan pengikatan semen menjadi lebih baik dengan peningkatan komposisi semen sehingga pasir



dan agregat limbah plastik terikat dengan semen sehingga meningkatkan nilai kuat tekan komposit beton.

Hasil uji kuat tekan komposit beton ini secara keseluruhan masih dibawah dari nilai kuat tekan beton umur 14 hari yang memiliki nilai kuat tekan beton sebesar 26.4 MPa menurut *Department of Fisheries and Oceans Small Craft Harbours Branch Burlington, Ontario*. Penggantian kerikil dengan agregat limbah plastik masih belum maksimal untuk meningkatkan nilai kuat tekan komposit. Banyak faktor yang dapat menyebabkan kuat tekan komposit beton rendah. Ini dapat disebabkan oleh agregat limbah plastik yang memiliki kekuatan yang lebih rendah daripada kerikil sehingga kuat tekan komposit beton lebih rendah dan juga ukuran agregat limbah plastik yang tidak homogen sehingga mempengaruhi pengikatan yang dilakukan oleh semen. Selain itu manufaktur yang masih banyak terjadi kesalahan baik dalam pengadukan semen, penambahan air kedalam adukan semen dan penuangan adukan semen kedalam cetakan. Serta proses perawatan beton dengan cara merendam komposit beton didalam air, walaupun membantu hidrasi semen sehingga dapat mengikat agregat limbah plastik dan pasir, namun juga dapat menyebabkan terlepasnya pasir dan agregat limbah plastik dari komposit beton.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Pengurangan *filler* agregat limbah plastik LDPE/PET/*Styrofoam* mempengaruhi sifat fisis dari material komposit. Pengurangan *filler* agregat limbah plastik cenderung meningkatkan sifat fisik dari material komposit. Densitas maksimal dari material komposit adalah sebesar 2.06 g/cm^3 . Persentase *water absorbability* terendah adalah sebesar 6.02%. Sementara itu pengurangan *filler* agregat limbah plastik LDPE/PET/*Styrofoam* mempengaruhi sifat mekanis dari material komposit. Pengurangan *filler* agregat limbah plastik cenderung meningkatkan sifat mekanis dari material komposit. Kekuatan tekan maksimal dari material komposit adalah sebesar 18.8 MPa. Persentase *mass loss* terendah yang terjadi pada material komposit adalah sebesar 0.03%.
2. Material komposit yang telah dibuat masih belum memenuhi standar nilai kuat tekan untuk aplikasi *breakwater* yang memiliki nilai kuat tekan minimum sebesar 26.4 MPa untuk beton umur 14 hari.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Adanya penelitian lebih lanjut untuk aplikasi *breakwater* menggunakan komposit dengan agregat limbah plastik yang lain atau menggunakan matriks dari thermoplastik.
2. Adanya penelitian lebih lanjut tentang perawatan komposit berbasis semen *Portland* dengan agregat limbah plastik agar mendapatkan hasil sesuai standar yang diinginkan.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Anas, Muh. Azwar. 2014. *Studi Pemecah Gelombang Blok Beton Berpori Susun Seri*. Makassar: Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
- ASTM C642. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*, Annual book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM E1252. *Standard Practice for General Tehcniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis*. Annual book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM E986. *Standard Practice for SEM Beam Size Characterization* Annual book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- ASTM D870. *Standard Practice for Testing Water Resistance of Coatings Using Water Immersion*. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, USA.
- Brazel, C.S. dan Stephen L.B. 2012. *Fundamental Principles of Polymeric Materials Third Edition*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Callister, W. D. 2014. *Material Science and Engineering an Introduction*. Utah: John Wiley & Sons.
- Carraher, C. E. 2003. *Polymer Chemistry Sixth Edition*. New York: Marcel, Dekker Inc.
- Cowd, M. A. 1982. *Kimia Polimer, Terjemahan oleh Harry Firman*. Bandung: Penerbit ITB.
- Department of Fisheries & Oceans. 2014. *Specifications for Breakwater Reconstruction*. Ontario, Kanada: Providence Bay Ontario.
- Emmanuel, Akinsola O. 2012. *Investigation of Salinity Effect on Compressive Strength of Reinforced Concrete*. Lagos, Nigeria: University of Lagos.

- Febriansyah. 2012. *Perencanaan Pemecah Gelombang (Breakwater) di Pelabuhan Merak*. Jakarta: Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- Ginting, Arusmalem. 2014. *Pengaruh Penambahan Pasir Terhadap Kuat Tekan Beton Porous*. Yogyakarta: Teknik Sipil Universitas Janabadra.
- Hambali, Mulkan. 2013. *Pengaruh Komposisi Kimia Bahan Penyusun Paving Block Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Airnya*. Palembang: Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
- Karima, Dzakia A. *Perencanaan Bangunan Pemecah Gelombang di Teluk Sumbreng, Kabupaten Trenggalek*. Surabaya: Teknik Sipil ITS.
- Lei, Yong et al. 2008. *Phase Structure and Properties of Polyethylene Terephthalate/ High Density Polyethylene Based on Recycled Materials*. Shanghai, China: Wiley Periodicals, Inc.
- Margolis, J. M. 2006. *Engineering Plastics Handbook*. Montreal, Canada: McGraw-Hill.
- Maulana, Taufiq Ilham. 2016. *Studi Kuat Tekan Material Pasir Berbahan Campur Sampah Kaca dan Plastik Rumah Tangga*. Yogyakarta: Teknik Sipil UMY.
- Mendivil-Escalante, J., & Gomez-Soberon, J. 2015. *Synthesis and Characterization of PET Polymer Resin For Your Application in Concrete*. Mexico: International Journal of Structural Analysis & Design-USAD.
- Mindess, S., Young, J.F., Darwin. 2003. *Concrete*. New Jersey, USA: Pearson Education Inc.
- Mujiarto, I. 2005. *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*. Semarang: Traksi Vol 3.
- Nachtrieb, O.G. 2003. *Prinsip-prinsip Kimia Modern Jilid 2, terjemahan oleh S. Setiati, edisi keempat*. Jakarta: Erlangga.

- Neogi, Somit et al. 2003. *Role of PET in Improving Wear Properties of PP in Dry Sliding Conditions*. Chennai, India: Indian Academy Sciences.
- Neville, A.M., & J.J Brooks. 2010. *Concrete Technology Second Edition*. Leeds, UK: Longman Group.
- Nuardi, Andri. 2017. *Perencanaan Pembangunan Abrasi Pantai Sei. Kinjil*. Ketapang: UIB.
- Prasad, A. 1999. *Polymer Data Handbook Polyethylene, Low Density*. Cincinnati, USA: Oxford University Press.
- Putra, Dwiki Pratama. 2018. *Studi Pengaruh Penambahan Binder Thermoplastic LDPE dan PET Terhadap Sifat Mekanik Komposit Partikulat Untuk Aplikasi Material Bangunan*. Surabaya: Teknik Material ITS.
- Rismayasari, Y. 2012. *Pembuatan Beton dengan Campuran Limbah Plastik dan Karakterisasinya*. Surakarta: Jurusan Fisika UNS.
- Rommel, Erwin. 2013. *Pembuatan Beton Ringan dari Agregat Buatan Berbahan Plastik*. Malang: Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang.
- Saputra, Andry G. 2014. *Identifikasi Penyebab Kerusakan pada Beton dan Pencegahannya*. Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- Skoog, Douglas A. 1998. *Principles of Instrumental Analysis*. Philadelphia, USA: Saunders College.
- SNI 03-0691-1996. *Bata Beton (Paving Block)*. Badan Standarisasi Nasional
- SNI 1969-2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2461-2014. *Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Struktural*. Badan Standarisasi Nasional.
- Socrates, George. 2004. *Infrared and Raman Characteristics Group Frequencies*. New York: John Wiley & Sons.

- Soebandono, Bagus. 2013. *Peerilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Campuran Limbah Plastik HDPE*. Yogyakarta: Jurnal Ilmiah Semesta Teknika.
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Surabaya: ITS Press.
- Sulyman, M., Haponiuk, J., & Formela, K. 2016. *Utilization of Recycled Polyethylene Terephthalate in Engineering Materials: a Review*. Gdansk, Poland: International Journal of Environmental Science and Development, Vol 7.
- Sutrisno, Aris. 2013. *Analisis Variasi Kandungan Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Struktural Agregat Pumice*. Yogyakarta: Teknik Sipil Universitas Negeri Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: UGM
- Tuffour, Isaac. 2016. *Development of Pavement Blocks Using Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Bottles*. Kumasi, Ghana: Kwame Nkrumah University of Science and Technology.
- Zendrato, Nur Lely. 2016. *Analisis Efektivitas Penggunaan Breakwater Dengan Lapis Pelindung Bambu dan Tetrapod Untuk Mereduksi Energi Gelombang Laut di Pelabuhan Kuala Tanjung*. Medan: Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.
- Zhang, H. 2010. *Building Materials in Civil Engineering*. Beijing, China: Science Press Beijing.

LAMPIRAN

Densitas (Massa Jenis)

$$\rho = \frac{Massa}{Volume}$$

Keterangan:

Massa (gram)

Volume (cm³)

Agregat Limbah Plastik (%)	M (gram)	V (cm ³)	density (g/cm ³)
75	152.65	130.49	1.17
65	163.28	124.66	1.31
60	170.82	127.38	1.34
55	185.47	133.7	1.39
55	169.3	129.45	1.37
50	200.22	132.3	1.51
45	217.56	134.4	1.62
45	209.81	130.76	1.61
40	217.7	130.31	1.67
35	220.15	128.48	1.71
0	247.76	120.31	2.06

Nomor Spesimen 6 Komposisi 50% agregat limbah plastik

Diketahui:

Massa : 200.22 gr

Volum : 132.3 cm³

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{Massa}{Volume} \\ &= \frac{200.22 \text{ gr}}{132.3 \text{ cm}^3}\end{aligned}$$

$$= 1.51 \text{ gr/ cm}^3$$

Absorbability

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{A - B}{B} \times 100\%$$

Keterangan:

A = berat basah

B = berat kering

Agregat Limbah Plastik (% v)	A (gram)	B (gram)	PA (%)
75	154.52	135.11	14.37
65	175.55	155.21	13.11
60	197.34	177.16	11.39
55	208.51	187.0	11.50
55	176.83	159.57	10.82
50	207.3	190.56	8.79
45	210.64	195.07	7.98
45	220.26	204.31	7.81
40	237.29	221.14	7.30
35	237.94	224.43	6.02
0	263.76	248.02	6.35

Nomor Spesimen 3 Komposisi 60% agregat limbah plastik

Diketahui:

Berat Basah : 197.34 gram

Berat Kering: 177.16 gram

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air} &= \frac{197.34 - 177.16}{177.16} \times 100\% \\ &= \frac{20.18}{177.16} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 11.39 \%$$

Kuat Tekan

$$Kuat\ tekan = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

P = beban tekan (N)

A = luas bidang tekan (mm²)

Komposisi	Pembebanan 1 (kN)	Pembebanan 2 (kN)	Luas (mm)	Kuat Tekan (MPa)
75	25	30	2500	11.00
65	29	30	2500	11.80
60	31	32	2500	12.60
55	32	33	2500	13.00
55	33	34	2500	13.40
50	35	33	2500	13.60
45	39	35	2500	14.80
45	31	32	2500	12.60
40	35	35	2500	14.00
35	39	39	2500	15.60
0	46	48	2500	18.80

Nomor Spesimen 10 Komposisi 35% agregat limbah plastik LDPE/PET/Styrofoam

Diketahui:

Beban tekan : 39000 + 39000 N = 39000 N

Luas bidang tekan : 2500 mm²

$$\begin{aligned}
 Kuat\ tekan &= \frac{P}{L} \\
 &= \frac{39000\ N}{2500\ mm^2} \\
 &= 15.60\ MPa
 \end{aligned}$$

Mass Loss

$$Mass\ loss = \frac{Mo - Mi}{Mi} \times 100\%$$

Keterangan:

Mo: Massa Awal (gram)

Mi: Massa Akhir (gram)

Agregat Limbah Plastik (% v)	Wo (gram)	Wi (gram)	Weight loss (%)
75	154.53	154.49	0.02
65	176.75	176.55	0.11
60	197.43	197.12	0.16
55	208.6	208.23	0.18
55	177.2	176.87	0.19
50	207.95	207.3	0.31
45	211.04	210.64	0.19
45	220.45	220.19	0.12
40	237.56	237.29	0.11
35	237.54	237.52	0.09
0	264.17	263.76	0.16

Spesimen nomor 9 komposisi 40% agregat limbah plastik LDPE/PET/Styrofoam

Diketahui:

Mo (massa awal): 237.56 gram

Mi (Massa akhir): 237.29 gram

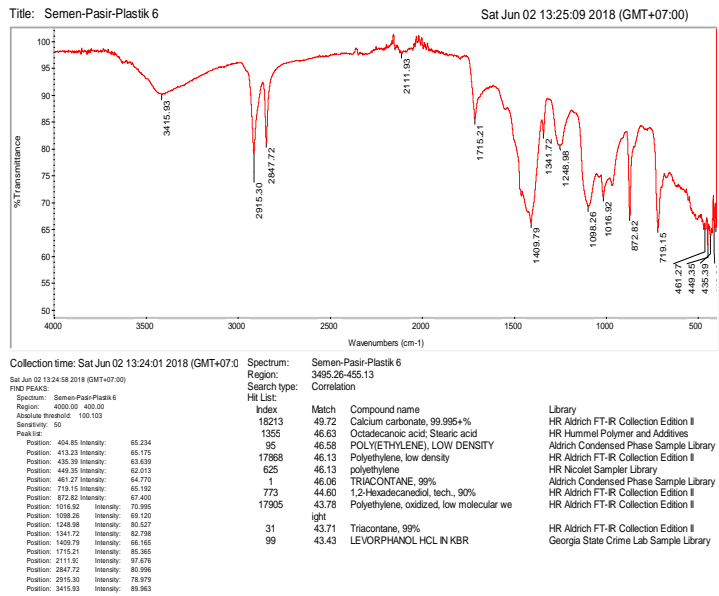
$$Mass\ loss = \frac{Mo - Mi}{Mi} \times 100\%$$

$$= \frac{237.56 - 237.29}{237.29} \times 100\%$$

$$= 0.11 \%$$

FTIR

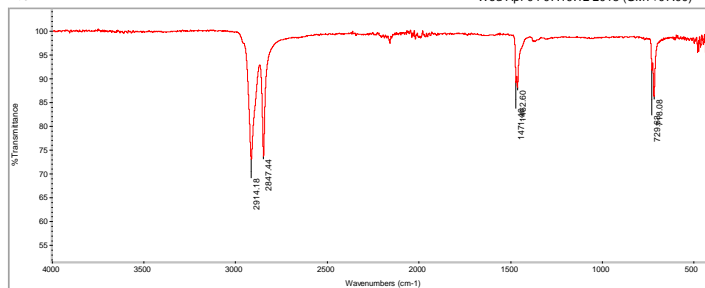
Hasil FTIR Komposisi 7 (25% Semen, 30% Pasir dan 45% Agregat Limbah Plastik:



Hasil FTIR LDPE

Title: LDPE

Wed Apr 04 07:19:12 2018 (GMT+07:00)



Collection time: Wed Apr 04 07:15:57 2018 (GMT+07:00)

Wed Apr 04 07:18:58 2018 (GMT+07:00)

FIND PEAKS:

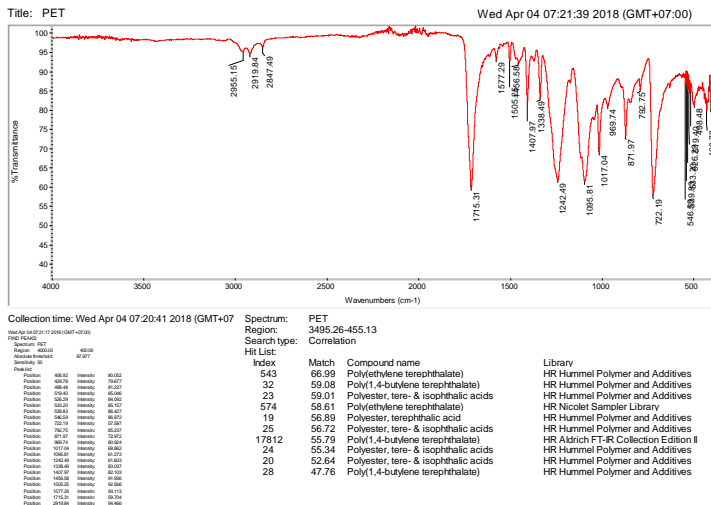
Spectrum: LDPE
Region: 4000.00 400.00
Absolute threshold: 91.985
Sensitivity: 50
Peak list:
Position: 417.98 Intensity: 91.107
Position: 718.08 Intensity: 86.092
Position: 729.63 Intensity: 91.532
Position: 1462.60 Intensity: 88.015
Position: 1471.46 Intensity: 89.038
Position: 2847.44 Intensity: 73.454
Position: 2914.18 Intensity: 72.835

Spectrum: LDPE
Region: 3495.26-455.13
Search type: Correlation
Hit List:

Index	Match	Compound name
95	88.18	POLY(ETHYLENE), LOW DENSITY
17868	85.90	Polyethylene, low density
625	85.89	polyethylene
1	84.94	TRIACONTANE, 99%
17906	82.26	Polyethylene, oxidized, high molecular w
	eight	oxidized polyethylene
604	82.23	NATURAL VEGETABLE WAX FROM MEXICAN SHRUB
768	81.22	1-Triacontanol, 96%
645	81.11	Triacontane, 99%
31	80.73	Natural vegetable wax from Brazilian pal
769	80.26	m trees

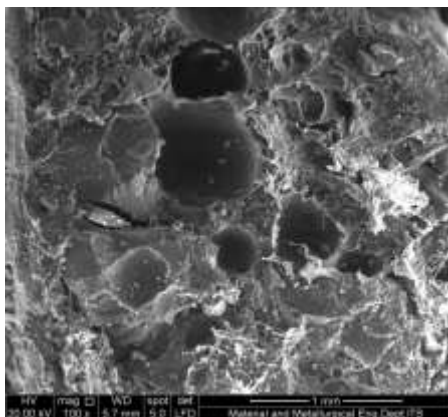
Library
Aldrich Condensed Phase Sample Library
HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
HR Nicolet Sampler Library
Aldrich Condensed Phase Sample Library
HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
HR Nicolet Sampler Library
HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
HR Nicolet Sampler Library

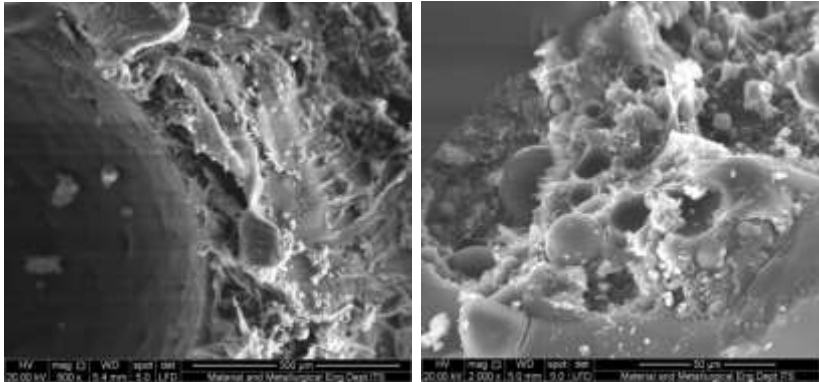
Hasil FTIR PET



SEM

Hasil SEM Komposisi 7 (25% Semen, 30% Pasir dan 45% Agregat Limbah Plastik:





Skema Pengujian *Mass Loss*



3 Buah
Pompa air

Spesimen
digantung
dengan tali

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, maka dari itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman dan sehat. Berkat rahmat dan kuasa-Nya penulis masih dapat menulis Tugas Akhir dan menjadi manusia yang bermanfaat.
2. Kedua orang tua, Mama dan Papa, serta Abang yang selalu mendukung dan mendoakan penulis. Tanpa doa dan dukungan Mama, Ayah, dan Abang penulis akan kesulitan untuk menyelesaikan tugas akhir.
3. Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono S.Si., M.Si., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir dan juga dosen wali yang telah membimbing penulis dari awal dan membantu dan memberikan banyak ilmu dan saran baik dalam pengerjaan Laporan Tugas Akhir dan kehidupan penulis selama tahap perkuliahan.
5. Bapak Mas Irfan P. Hidayat ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir dan memberikan banyak saran bagi penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Teman dari maba, Rifki, Ogi, Afiq, Ical, Rama, Eja, Dwiki, Noer, Pijul, Pandu, Icod, Emral, Adnan, Argya yang telah menemani masa-masa perkuliahan selama kurang lebih 4 tahun dan membuat masa perkuliahan saya terasa lebih mudah.

9. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir, Afiq, Aficena, Ical, Tiyo, Sidik, Soki, Raka, dan Girsang yang telah membantu, mengingatkan, dan mengajarkan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
10. Keluarga MT 16 yang penulis sayangi yang telah memberikan penulis banyak sekali kenangan. Kalian membuat penulis betah selama di perantauan ini.
11. Keluarga UKM Sepakbola ITS yang selalu memberikan canda tawa kepada penulis dan sudah membuat penulis mendapatkan banyak pengalaman berharga dalam hidup penulis.
12. Serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

BIODATA PENULIS



Muhammad Irfan Bibra, lahir di Pekanbaru, 16 Mei 1997. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDI As-Shofa Pekanbaru. Lalu melanjutkan ke jenjang pertama di SMP Islam As-Shofa Pekanbaru. Selanjutnya menempuh pendidikan di SMAN 8 Pekanbaru. Lalu penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama menempuh perkuliahan, penulis juga aktif di acara departemen maupun institusi dan juga forum daerah Riau. Penulis pernah menjadi panitia acara yang diadakan insituti seperti ITS *Futsal Championship* 2016. Penulis juga tercatat pernah menjadi Ketua UKM Sepakbola ITS periode 2016-2017. Selain itu penulis juga pernah menjadi staff Badan Semi Otonom Minat Bakat HMMT FTI-ITS Departemen Teknik Material pada tahun 2015-2016. Penulis juga pernah mendapatkan gelar juara 1 pada gelaran ITS *Futsal Championship* 2017 dan 2018 serta mendapat gelar individu *Best Player Men* di gelaran ITS *Futsal Championship* 2018.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik pada bulan Juli 2017 dan memiliki topik selama kerja praktek dengan judul “Analisa Kegagalan *Shaft* pada *Bucket Elevator* Pabrik II PT. Petrokimia Gresik”.

Tugas akhir yang diambil penulis yaitu pada bidang Material Inovatif dengan judul “Studi Pengaruh Variasi Agregat Limbah Plastik LDPE/ PET/ Styrofoam terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Berbasis Semen Portland untuk Aplikasi *Breakwater*”.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)